ИСТОРИЯ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА

HISTORY OF SOVIET ATOMIC PROJECT

ИСАП-96
ДУБНА 14-18 МАЯ 1996

HISAP'96
DUBNA 14-18 MAY 1996

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

НАУКА И ОБЩЕСТВО: ИСТОРИЯ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА (40-е – 50-е годы)

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

SCIENCE AND SOCIETY: HISTORY OF THE SOVIET ATOMIC PROJECT (40's – 50's)

ТРУДЫ
PROCEEDINGS

2
ТОМ
VOLUME

МОСКВА
ИЗДАТ
1999

ББК 6П2.8(09)
Н 90
УДК 621.039(093)

Н90 Наука и общество: история советского атомного проекта (40-е – 50-е годы) / Труды международного симпозиума ИСАП-96.— М.: ИздАТ, 1999. – 528 с.

ISBN 5-86656-090-9

14-18 мая 1996 года в городе Дубне Московской области проходил первый международный симпозиум, посвященный истории советского атомного проекта. На симпозиуме обсуждались политические, социальные, исторические, научные, инженерные, военные, разведывательные, экологические и медико-биологические аспекты советского атомного проекта. В его работе участвовали руководители и ведущие специалисты атомной науки и техники России, зарубежные и российские эксперты, непосредственные участники советского атомного проекта.

Сборник содержит фактический и мемуарный материал по истории советского атомного проекта. Пленарные и секционные доклады, основные доклады заседания «круглого стола» публикуются по текстам, предоставленным докладчиками. Выступления на открытии симпозиума, краткие выступления на «круглом столе» и заключительная дискуссия воспроизведены по фонограмме. Многие документы, результаты исследований и свидетельства участников советского атомного проекта публикуются впервые. Книга может быть полезна как для специалистов-историков, так и для широкого круга читателей. В первом томе представлены материалы пленарных заседаний, круглого стола «Атомная проблема и судьба цивилизации» и семинара памяти Н.Бора, во втором и третьем – доклады, сделанные на секционных заседаниях.

Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда согласно проекту № 98-03-16101.

ББК 6П2.8(09)

ISBN 5-86656-090-9

СПОНСОРЫ СИМПОЗИУМА

- Министерство Российской Федерации по атомной энергии
- Министерство науки и технической политики РФ
- Российская Академия Наук
- Российский научный центр "Курчатовский институт"
- Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)
- Российский гуманитарный научный фонд
- Российский фонд фундаментальных исследований

- АБ "Инкомбанк"
- АООТ "РЕЛКОМ"
- Ассоциация "RELARN"
- Клубный журнал "БИЗНЕС-МАТЧ"
- ЗАО "Конверсбанк"
- Федерация "Мир и согласие"
- Ядерное общество России

ПОЧЕТНЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТНИКОВ

Осипов Ю.С.	Россия
Салтыков Б.Г	Россия
Сиборг Г.Т.	США
Теллер Э.	США
Харитон Ю.Б.	Россия

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели	Михайлов В.Н.	— Министр РФ по атомной энергии
	Велихов Е.П.	— Президент Российского научного центра "Курчатовский институт"
Заместители сопредседателей	Рябев Л.Д.	— Первый заместитель министра РФ по атомной энергии
Черноплеков Н.А.		— Председатель ученого совета Российского научного центра "Курчатовский институт"

Аврорин Е.Н.	Россия	Карелин А.И.	Россия
Адамский В.Б.	Россия	Орел В.М.	Россия
Альтшулер Л.В.	Россия	Петров Р.В.	Россия
Барковский В.Б.	Россия	Решетников Ф.Г.	Россия
Визгин В.П.	Россия	Трутнев Ю.А.	Россия
Гинзбург В.Л.	Россия	Озеруд Ф.	Дания
Головин И.Н.	Россия	Пестре Д.	Франция
Гольданский В.И.	Россия	Уолкер М.	США
Джелепов В.П.	Россия	Хейнеман-Грудер А.	Германия
Замышляев Б.В.	Россия	Холлоуэй Д.	США
Ильин Л.А.	Россия	Яноух Ф.	Швеция - Чехия
Кадышевский В.Г.	Россия		

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели	Бабаев Н.С.	— Министерство РФ по атомной энергии
	Гапонов Ю.В.	— Российский научный центр "Курчатовский институт"
	Сисакян А.Н.	— Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)

Рабочая группа Москва	Рабочая группа Объединенный институт ядерных исследований (Дубна)	Группа представителей	
		Варденга Г.Л.	Крюков С.В.
Бондарев Н.Д.	Бруданин В.Б.	Гайнуллин Р.З.	Кудинова Л.И.
Ветлова Т.Д.	Жабицкий В.М.	Гончаров Г.А.	Михайлин В.В.
Дровеников И.С.	Король А.П.	Замятнин Ю.С.	Новиков В.М.
Ковалева С.К.	Лощилов М.Г.	Зельдович О.Я.	Рубинин П.Е.
Линде Ю.В.	Малов Л.А.	Ивановская И.Н.	Селинов И.П.
Смородинская Н.Я.	Медведь К.С.	Ильенко Е.И.	Сойфер В.Н.
Соколовский Л.Л.	Романов А.И.	Круглов А.К.	Якимов С.С.

Группа подготовки публикаций и выставки

Иойрыш А.И., Малкин Г.Г., Нехорошев Ю.С., Попов В.К., Ткач К.Г.

Пресс-центр Симпозиума — Клубный журнал «БИЗНЕС-МАТЧ»,
руководитель — Бердичевская А.Л., главный редактор журнала.

Секретари Бородкина Т.А., Петровская Т.П.

Ученый секретарь Симпозиума Инжечик Л.В. — Российский научный центр "Курчатовский институт"

РАСПИСАНИЕ РАБОТЫ СИМПОЗИУМА

	9-30 — 11-15	11-30 — 13-15	15-00 — 17-00	17-15 — 19-00
14.05	9-00 Открытие. Пленарное заседание 1	Пленарное заседание 1	Секция 1 Секция 2 Секция 3	Секция 1 Секция 2 Секция 4
15.05	Пленарное заседание 2	Пленарное заседание 2	Секция 2 Секция 3 Секция 4	Секция 2 Секция 3 Секция 4
16.05	Пленарное заседание 3	Пленарное заседание 3	Секция 5 Секция 6 Секция 7	Секция 5 Секция 6 Секция 7
17.05	Пленарное заседание 4	Круглый стол	Секция 7 Семинар памяти Н.Бора	Секция 7 Семинар памяти Н.Бора
18.05	Заключительная дискуссия	Закрытие. Пресс-конференция		

Тематика заседаний

Пленарное заседание 1 — Начало советского атомного проекта

Пленарное заседание 2 — Создание технологической и промышленной базы проекта

Пленарное заседание 3 — Создание советского ядерного оружия

Пленарное заседание 4 — Физика, техника, экономика

Круглый стол — Атомная проблема и судьба цивилизации

Секция 1 — Первая стадия проекта

Секция 2 — Мемуары к истории проекта

Секция 3 — Создание промышленных технологий

Секция 4 — Ядерное оружие

Секция 5 — Невоенные аспекты проекта

Секция 6 — Экология, биология и проблемы безопасности

Секция 7 — Политические и социальные аспекты проекта

Семинар памяти Н.Бора (к 110-летию со дня рождения)

Секционные доклады

Часть I

СЕКЦИЯ 1
ПЕРВАЯ СТАДИЯ ПРОЕКТА

Ведущий — В.Б. Барковский **Ученый секретарь — Л.В. Инжечик**

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА В ПРЕДВОЕННЫЕ ГОДЫ

Н.Е. Завойская, В.П. Захарова, Г.А. Котельников

1. ВВЕДЕНИЕ

Состояние и уровень развития ядерной физики в СССР в предвоенные годы привлекают внимание отечественной и мировой общественности в связи с советским атомным проектом, успешно осуществленным в кратчайшие сроки в сложных условиях военного и послевоенного периодов. Для объяснения этого феномена рассматриваются различные причины: от внутренних, определявшихся жизнью страны, до внешних, зависевших от привходящих факторов. В этой связи предвоенное состояние ядерной физики как научной базы для развития ядерных технологий может служить ключом к пониманию ситуации в целом. Поэтому предвоенный период неоднократно освещался в литературе, например в [1], [2], [3]. Основной результат этих работ состоит в том, что определяющими явились причины внутреннего характера, в частности, высокий уровень развития отечественных ядерных исследований в предвоенные годы.

Целью настоящей работы является дальнейшее обоснование такой точки зрения на основе обращения к первоисточникам и анализа сопутствующих публикаций из открытой печати.

2. СОСТОЯНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Развитие ядерной физики в 20-40 гг. проходило на фоне крупнейших научно-технических достижений в науке в целом. К этому времени были

созданы специальная и общая теории относительности, установлен принцип эквивалентности массы и энергии, выдвинута планетарная модель атома, построена квантовая механика. Становление ядерной физики в СССР обычно связывают с организацией в 1918 г. Ленинградского Государственного рентгенологического и радиологического института, преобразованного впоследствии в Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ) во главе с академиком А.Ф. Иоффе [4]. Представители этого института составили впоследствии ядро сотрудников "...физико-технических институтов в Харькове, Днепропетровске, Свердловске. Новая область атомного ядра разрабатывалась, в основном, Ленинградским и Харьковским физико-техническими институтами, ... Радиевым институтом и Физическим институтом Академии Наук СССР (ФИАН)" [4]. Так была образована всемирно известная школа ядерной физики в СССР.

В 1926 г. В.А. Фок (Лениградский университет, ЛФТИ) сформулировал релятивистски инвариантное обобщение уравнения Шредингера [5]. Физическая интерпретация уравнения столкнулась с определенными трудностями, и только последующие исследования позволили установить, что оно описывает свободное движение заряженных частиц с нулевым спином и в статическом приближении содержит решение, соответствующее потенциалу Юкавы. В настоящее время описываемые этим уравнением объекты известны под названием π мезонов — частиц, ответственных за ядерные силы притяжения между нуклонами. Практически одновременно с Фоком аналогичные результаты были получены за рубежом О. Клейном и В. Гордоном, а само уравнение стало известно под названием уравнения Клейна-Гордона-Фока.

Значительным достижением начального периода можно также назвать исследования по теории альфа-распада. Как известно, сложность объяснения наблюдений состояла в том, что в классической физике альфа-частица с энергией 4,77 МэВ из распада ядра урана не в состоянии преодолеть кулоновский барьер высотой $2Ze^2/r$ = 8,08 МэВ (Z = 90, r = $3{,}2{\cdot}10^{-12}$ см). Поэтому необходимо было найти соответствующий механизм явления. Первоначальный механизм был предложен автором планетарной модели атома Э. Резерфордом [6]. Резерфорд предположил, что альфа-частица преодолевает барьер, находясь в нейтральном состоянии, присоединив к себе два электрона из состава ядра, которые после прохождения через барьер сбрасываются обратно на исходное ядро [6].

Квантово-механическое решение проблемы, ставшее общепринятым, предложил стажировавшийся в Геттингене у профессора М. Борна аспирант ЛГУ Г.А. Гамов [7]. "Рассмотрим вопрос с точки зрения волновой механики с целью разрешения упомянутой выше трудности. Волновая механика указывает на то, что частица с малой вероятностью может пройти через потенциальный барьер конечной высоты" [8]. Далее было найдено решение уравнения Шредингера с прямоугольной потенциальной стенкой, а затем и с кулоновским потенциалом заряда ядра. Выводы теории оказались

удовлетворительно согласующимися с экспериментальными данными [8]. Аналогичные результаты были получены примерно в это же время Р. Герни и Е. Кондоном за рубежом [9].

С 1931 по 1933 гг. Гамов, будучи с. н. с. ЛФТИ, опубликовал ряд работ о строении атомного ядра в журнале УФН и в государственных издательствах Москвы и Ленинграда [10]. Сопутствующие творчеству Гамова обстоятельства изложены в воспоминаниях Д.Д. Иваненко [11].

К этому времени полагалось, что атомное ядро состоит из протонов и электронов. Однако эта гипотеза встретилась с большими трудностями. Оказалось, что она противоречит наблюдаемому спектру молекул азота, из которого можно было определить статистику ядра. Выяснилось, что это ядро подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна. Между тем, согласно протонно-электронной гипотезе, ядро азота должно было состоять из 14 протонов и 7 электронов — итого 21 частица со спином 1/2. Такое ядро должно было бы подчиняться статистике Ферми-Дирака, что находилось в противоречии с данными спектроскопических наблюдений. Поэтому предполагалось, что электроны, попадая в ядра, теряют некоторые свои свойства и, в частности, спин 1/2. Трудно было понять, каким образом электроны вновь обретают эти свойства, покидая ядро при бета-распаде.

На пути преодоления этой трудности В.А. Амбарцумян и Д.Д. Иваненко в 1930 г. высказали предположение, что эмиссия электронов при β-распаде аналогична эмиссии квантов электромагнитного поля: и те, и другие рождаются в момент излучения [12]. Поэтому β-электронов в составе атомного ядра как будто бы и не должно быть.

В феврале 1932 г. Дж. Чедвик (Лаб. Кавендиша, Кембридж, Англия) обнаружил проникающее корпускулярное излучение, испускаемое бериллием при бомбардировке альфа-частицами. Эти частицы Чедвик назвал нейтронами.

Спустя 2 месяца, в апреле 1932 г. сотрудник ЛФТИ Д.Д. Иваненко опубликовал краткую заметку под названием "Нейтронная гипотеза" и несколько позже — статьи: "Нейтроны и ядерные электроны" и "О строении атомных ядер" [13]. В этих работах Иваненко впервые предложил считать атомные ядра построенными из протонов и нейтронов без участия электронов. Кроме того, он предложил рассматривать нейтрон как элементарную частицу со спином 1/2. Это позволило ему устранить "аномалию азота", ядро которого можно было теперь считать состоящим из 7 протонов и 7 нейтронов с целочисленным значением суммарного спина. Аналогичным образом были рассмотрены ядра ^{35}Cl, ^{37}Cl и ^{209}Bi [13].

Наряду с исследованием строения ядер представляли также большой интерес вопросы взаимодействия ядерных излучений с веществом. Работы этого направления проводились в Москве, в ФИАНе, где с 1932 г. директором был академик С.И. Вавилов.

В 1934 г. сотрудник этого института П.А. Черенков обнаружил особый вид свечения жидкостей под действием гамма-лучей [14]. Особенности явления были рассмотрены С.И. Вавиловым, который предположил, что свечение вызывается торможением быстрых электронов [15]. Полное теоретическое объяснение эффекта было дано в 1937 г. И.Е. Таммом и И.М. Франком [16]. Авторы показали, что электрон, движущийся в среде, излучает свет даже при равномерном движении, если только его скорость превышает скорость света в этой среде. В 1958 г. работа Черенкова, Тамма и Франка была отмечена Нобелевской премией.

После открытия нейтронов во многих лабораториях мира началось их широкое использование в ядерно-физических исследованиях. Работы этого направления активно проводились в ЛФТИ. В 1935 г. И.В. Курчатов, Б.В. Курчатов, Л.В. Мысовский и Л.И. Русинов (ЛФТИ) исследовали гамма-излучение брома, подвергнутого облучению нейтронами. У изотопа ^{80}Br авторы обнаружили существование механизма распада, соответствующего явлению ядерной изометрии [17].

Наряду с экспериментальными исследованиями в этот период проводились теоретические разработки, направленные на выяснение природы ядерных сил. Вскоре после открытия нейтрона В. Гейзенберг (Лейпцигский университет) выдвинул идею существования обменных сил между протонами и нейтронами [18]. Рассматривая силы, удерживающие вместе нейтрон и протон, Гейзенберг предложил следовать аналогии с ионом молекулы водорода H_2^+, а в случае взаимодействия двух нейтронов — аналогии с молекулой водорода H_2. В обоих случаях удерживаемые нуклоны обмениваются частицами с отрицательным зарядом. (Как выяснилось впоследствии — π^--мезонами). В СССР подобные исследования были проведены сотрудником ФИАНа И.Е. Таммом [19].

Идеи обменных ядерных сил получили дальнейшее развитие в работах японского физика Юкавы. В 1935 г. он предложил на роль ядерных квантов частицы с массой ~ 200 МэВ. В конце 40-х годов они были обнаружены и стали известны как π-мезоны.

В 1936 г. в статье "Захват нейтрона и строение ядра" Н. Бор (Копенгаген, Дания) отметил, что проблема строения ядра лишена специфической простоты, характерной для строения атома, однако и в теории ядра возможны приемлемые упрощения [20]. Бор предложил концепцию, согласно которой ядерная реакция протекает в два этапа. На первом этапе нейтрон захватывается ядром, и образуется возбужденное составное промежуточное компаунд-ядро. Энергия возбуждения быстро распределяется между всеми нуклонами ядра. Необходимо сравнительно длительное время для того, чтобы на каком-либо нуклоне снова сконцентрировалась энергия, достаточная для его вылета из ядра.

Работа Н. Бора привлекла внимание теоретика из ЛФТИ Я.И. Френкеля. В 1936 г. он применил к возбужденному ядру понятие температуры и

показал, что развал промежуточного ядра может быть рассмотрен как процесс, аналогичный испарению молекул из конденсированной среды [21].

В том же году академик А.Ф. Иоффе так оценил значение исследований в области физики ядра: "Атомное ядро — это сейчас, несомненно, одна из узловых проблем физики. Здесь решается вопрос о соотношении вещества, электричества и света. Здесь открывается следующий этап познания и овладения явлениями природы, показателем которого являются открытые Блеккетом "ливни" частиц. Здесь защищенные энергетическими барьерами в миллион вольт скрыты огромные запасы энергии и возможности перестройки элементов. Путь к этим увлекательным перспективам ведет через создание высоковольтной техники на миллионы и десятки миллионов вольт. Овладение ею будет означать начало нового этапа в физике, а может быть, и в энергетике" [22]. Замечание оказалось пророческим.

Спустя два года было открыто деление ядер. В конце 1938 г. О. Ган и Ф. Штрассман (Институт химии кайзера Вильгельма, Берлин) при химической идентификации продуктов реакции (U, n) обнаружили присутствие бария [23]. О. Фриш и Л. Мейтнер (Нобелевский институт, Стокгольм, Швеция) объяснили это явление на основе капельной модели ядра и присвоили ему название "деление ядра".

Изучение деления урана стало развиваться небывалыми в истории науки темпами. Вот что пишет об этом времени академик Г.Н. Флеров. "Простая арифметика подсказывала: ядра-осколки перегружены нейтронами. Естественно, рождалось предположение: в процессе деления могут испускаться вторичные нейтроны. Аналогичная мысль одновременно пришла в голову и у нас, и за рубежом. Если число вторичных нейтронов больше одного на каждое ядро урана, захватившее нейтрон, то в принципе цепная реакция возможна, и мечта об освоении внутриядерной энергии могла стать реальностью. И.В. Курчатова полностью захватила возникшая грандиозная проблема. Вскоре он наметил исследовательский план, выполнение которого давало бы ответ на вопрос: возможна или нет цепная реакция на уране? В первую очередь он хотел убедиться на опыте, что вторичные нейтроны существуют, и постараться измерить их число на один акт деления. Эти исследования И.В. Курчатов поручил мне и Л.И. Русинову. Уже в начале апреля 1939 г. мы измерили эту "сакраментальную" константу. По полученным данным, величина равнялась 3±1. Измерения, хотя и не были слишком точными, но давали ответ на главный вопрос" [2].

В 1939 г. измерения провели также У. Цинн и Л. Сцилард (Колумбийский университет, США) [25]. Было установлено, что $\nu = 2{,}3$, причем энергия нейтронов составляла 1-3 МэВ. В этом же году было показано, что под действием медленных нейтронов делится только уран-235. Перспективы важнейшего практического применения ядерных процессов стали очевидными. Во всем мире начались теоретические проработки возможности цепных ядерных реакций на ядрах урана. Сюда относятся, например, две

работы Ф. Перрена с общим названием "Вычисления, относящиеся к условиям реализации цепной реакции в уране" [26]. В первой из них рассматривались только реакции на быстрых нейтронах на окиси природного урана U_3O_8 в виде порошка с плотностью 4,2 г/см^3. Было показано, что критическая масса в отсутствие оболочки, отражающей нейтроны, составит 40 тонн, а в присутствии оболочки из железа или свинца — приблизительно 12 тонн. Во второй статье рассматривался случай введения в урансодержащую среду (U_3O_8 в виде порошка) некоторых количеств водорода (в составе воды) и кадмия. Критический радиус устройства был оценен равным 65 см при обычной температуре и 80 см при температуре 90^0 С.

В нашей стране теорию цепной реакции деления урана развивали Я.Б. Зельдович и Ю.Б. Харитон. Вычисления для основного изотопа урана были проведены в предположении неограниченной протяженности рассматриваемой системы. Было показано, что возможность цепной реакции определяется неравенством:

$$\nu(1-\gamma)>1,$$

где: ν — среднее число нейтронов на один акт деления, γ — вероятность процессов взаимодействия нейтронов с ядром без деления. Вычисления проводились как для окиси урана U_3O_8, так и для металлического урана. Рассматривался вопрос о возможности уменьшения критической массы урана путем окружения его веществом, препятствующим утечке нейтронов наружу [27].

В последующей работе авторы исследовали возможность цепного распада урана под действием медленных нейтронов, когда делению подвергается изотоп ^{235}U [28]. Был введен уточненный критерий осуществимости цепной реакции, впоследствии известный как формула трех сомножителей:

$$\nu\theta\phi > 1,$$

где: ν — среднее число нейтронов на один акт деления, θ — вероятность того, что замедленный до энергии << 25 эВ (энергии резонансного поглощения изотопа ^{238}U) нейтрон будет захвачен ураном-235, ϕ — вероятность замедления нейтрона без захвата в резонансной области. Согласно полученной оценке, чем больше величина ($\nu\theta\phi$ -1), тем меньшими могут быть критические размеры системы.

В 1940 г. сотрудники ЛФТИ К.А. Петржак и Г.Н. Флеров открыли новый вид радиоактивных превращений — спонтанное деление ядер урана-238 с периодом полураспада $10^{16}\div10^{17}$ лет [29].

В 1940 г. вышел на проектные параметры первый циклотрон в Европе, построенный в Радиевом институте в Ленинграде [30].

3. ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА ИССЛЕДОВАНИЙ

Из воспоминаний академика А.П. Александрова: "Быстрое развитие ядерной физики в Советском Союзе в 30-х годах стало возможным только в связи с ростом уровня техники и промышленности страны, который происходил в это время. Почти без исключения вся необходимая аппаратура уже была изготовлена в Советском Союзе. Крупное электротехническое оборудование для ускорителей тогда готовилось на ленинградском заводе "Электросила", где под руководством Д.В. Ефремова был организован коллектив сотрудников, специализировавшихся в этой области, работавших по заданиям И.В. Курчатова. Впоследствии на базе этой организации был создан Электрофизический институт, основной задачей которого была разработка ускорительной техники.

Вакуумная электроника и вакуумная техника в это время развивались в лабораториях завода "Светлана" под руководством С.А. Векшинского, крупнейшего специалиста по вакууму и вакуумной электронике. Область криогенной техники развивалась в основном в украинском Физико-техническом институте, который внес большой вклад в развитие вакуумной техники, в Институте физических проблем, а также в Уральском физико-техническом институте. Измерительная аппаратура вся изготовлялась на приборных заводах страны, уже выпускавших аппаратуру вполне современного тогда уровня, а вся специальная аппаратура делалась самими исследователями, как это было и во всех странах в то время.

К 1938 г. напряженность, связанная с ростом агрессивности гитлеровской Германии, несколько сдерживала развитие, так как и средства, и материальные ресурсы СССР отпускались прежде всего для нужд обороны" [1].

4. ПОЛИТИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ

Характерной особенностью предвоенного периода было стремление к широкому обмену научно-технической информацией и к сотрудничеству на международном уровне. К 1930 г. число работ советских физиков, которые тогда печатались в иностранных журналах, настолько возросло, что стало занимать от 25 до 30% объема основного немецкого журнала "Zeitschrift für Physik" [4]. Тогда были учреждены два отечественных журнала на иностранных языках: "Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion" в Харькове и "Technical Physics of the USSR" в Ленинграде. "Эти журналы публиковали результаты более 90% всех работ, производимых в Союзе, и получили значительное распространение и признание за границей: уже в 1934-1935 годах харьковский журнал оказался в числе первого десятка наиболее читаемых физических журналов" [4].

5. ВСЕСОЮЗНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Начиная с 1933 г., в стране регулярно проводились Всесоюзные конференции и совещания по вопросам физики атомного ядра с приглашением крупнейших зарубежных физиков.

- Первая Всесоюзная ядерная конференция. 1933, 24-30 сентября, Ленинград [30], [31].

Докладчики: А.Ф. Иоффе, Г.А. Гамов, Д.Д. Иваненко, Д.В. Скобельцын, С.Э. Фриш, К.Д. Синельников, А.И. Лейпунский.

От зарубежных участников: Ф. Жолио, Ф. Перрен, Л.Г. Грей, П.А.М. Дирак, Ф. Разетти, В. Вайскопф.

В дискуссиях участвовали: И.В. Курчатов, И.Е. Тамм, В.А. Фок, Я.И. Френкель.

- Вторая Всесоюзная конференция по атомному ядру. 1937, 20-26 сентября, Москва [30], [32].

Докладчики: А.Ф. Иоффе, Н.А. Добротин, И.В. Курчатов, К.Д. Синельников, И.Е. Тамм, П.А. Черенков, В.Н. Рукавишников, Д.В. Тимощук, А.И. Алиханов, Б.С. Джелепов, И.М. Франк, Л.В. Грошев, Д.В. Скобельцын, Е.Г. Степанова, Л.Д. Ландау, Ю.Б. Румер, В.И. Векслер, А.И. Алиханян, И.Я. Померанчук, Н.Н. Дмитриев, Я.И. Френкель, П.П. Павинский, А.И. Ахиезер.

В дискуссиях участвовали: Р. Пайерлс, В. Паули, П. Оже, Э.Дж. Вильямс, Ф. Хоутерманс.

- Третье Всесоюзное совещание по атомному ядру. 1938, 1-6 октября, Ленинград [30], [33].

Докладчики: В.И. Векслер, С.Н. Вернов, Н.А. Добротин, Д.А. Франк-Каменецкий, А.П. Жданов, И.Е. Тамм, А.К. Вальтер, К.Д. Синельников, А.И. Алиханов, А.И. Алиханян, Д.В. Скобельцын, И.И. Гуревич, М.А. Марков, А.И. Русинов, Л.В. Грошев, И.М. Франк, В.Н. Рукавишников, М.Г. Мещеряков, П.А. Черенков, Г.Д. Латышев, И.В. Курчатов, Г.Н. Флеров, Ф.Ф. Ланге.

- Четвертое Всесоюзное совещание по физике атомного ядра. 1939, 15-20 ноября, Харьков [30], [34].

Докладчики:Д.В. Скобельцын, К.И. Алексеева, С.Н. Вернов, А.П. Жданов, В.И. Векслер, А.К. Вальтер, Л.А. Арцимович, Г.Д. Латышев, Л.В. Грошев, А.Б. Мигдал, С.Я. Никитин, А.И. Лейпунский, К.А. Петржак, В.Г. Хлопин, Г.Н. Флеров, Ю.Б. Харитон, И.И. Гуревич, Д.В. Тимощук, Л.И. Русинов, А.А. Юзефович, Я.И. Френкель, И.П. Селинов, А.А. Гринберг, С.З. Рогинский, Ф.Ф. Ланге, Б.М. Гохберг, В.С. Шпинель.

- Пятое Всесоюзное совещание по физике атомного ядра. 1940, 20-26 ноября, Москва [30], [35].

Докладчики: И.В. Курчатов, К.А. Петржак, Г.Н. Флеров, В.Б. Берестецкий, А.Б. Мигдал, А.Е. Полесицкий, Т.И. Никитинская, Л.И. Русинов,

И.Е. Тамм, Л.Д. Ландау, И.Я. Померанчук, С.Я. Никитин, Н.В. Федоренко, И.М. Франк.

Вот как оценил общую ситуацию И.В. Курчатов в докладе "Деление тяжелых ядер", где были изложены новейшие результаты исследований процесса деления ядер и обсуждены проблемы цепной реакции: "...я еще раз хотел бы подчеркнуть, что хотя принципиально вопрос об осуществлении цепного ядерного распада и решен в положительном смысле, однако на пути практической реализации в исследованных сейчас системах возникают громаднейшие трудности... Быть может, ближайшие годы принесут нам другие пути решения задачи, но если этого не случится, то только новые, очень эффективные методы разделения изотопов урана обеспечат осуществление цепной ядерной реакции" [35].

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1941 г. развитие отечественной ядерной физики прервала война. Изучение предвоенного периода позволяет заключить, что:

1. Государство оказывало значительную поддержку проводимым ядерно-физическим исследованиям.

2. Исследования сопровождались международным сотрудничеством и широким обменом научной информацией с западными научными центрами.

3. Состояние исследований соответствовало мировому уровню развития ядерной физики.

4. Фундамент в области ядерных исследований и ядерных технологий, заложенный в предвоенные годы, а также усилия научных, инженерных и трудовых коллективов впоследствии сыграли решающую роль в создании отечественного ядерного оружия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.П. Александров.** Ядерная физика и развитие атомной техники в СССР. В кн. :Атомная энергетика и научно-технический прогресс. — М.: Наука, 1979, с.34-74.

2. **Г.Н. Флеров.** Всему мы можем поучиться у Курчатова... Воспоминания об Игоре Васильевиче Курчатове. — М.: Наука, 1988, с.57-77.

3. **И.Н. Головин.** И.В. Курчатов. — М.: Атомиздат, 1978, 136 с.

4. **А.Ф. Иоффе.** Советская физика за 20 лет. Моя жизнь и работа. В кн.: О физике и физиках. — Л.: Наука, 1985, с.295-306; 487-520.

5. **V. Fock.** Zur Schrödingerschen Wellenmechanik. — Zeitschrift für Physik, 1926, Bd. 38, H. 3, S. 242-250; Über die Invariante Form der Wellen und der Bewegungsgleichungen fur einen geladenen Massenpunkt. — Zeitschrift für Physik, 1926, Bd. 39, H 2/3, S. 226-232.

6. **E. Rutherford.** Structure of the Radioactive Atom and Origin of the α-Rays. — Philosofical Magazine, 1927, v. 4, N 22, p. 580-605.

7. **Джордж Гамов.** Моя мировая линия: неформальная автобиография. Пер. с англ. — М.: Ф.М., ВО Наука, 1994, 320 с.

8. **G. Gamov.** Zur Quantentheorie des Atomkernes. — Zeitschrift für Physik, 1928, H. 3/4, S. 204-212.

9. **R.W. Gurney, E.U. Condon.** Wave Mechanics and Radioactive Disintegration. — Nature, 1928, v.122, N 307, p.439.

10. **Г.А. Гамов.** Очерк развития учения о строении атомного ядра. — УФН, 1930, т.10, вып.4, с.531-544; 1932, т.12, вып.1, с.31-43; вып.4, с.389-403; 1933, т.13, вып.1, с.46-57; 1934, т.14, с.389-406; Атомное ядро и радиоактивность. — М.-Л.: ГИЗ, 1930, 80 с.; Строение атомного ядра и радиоактивность. — М.: ГТТИ, 1932, 146 с.

11. **Д.Д. Иваненко.** Эпоха Джорджа Гамова глазами современника. — В кн.: [7], с.231-292.

12. **V. Ambarzumian et D. Ivanenko.** Les electrons inobservables et les rayons β. — Comptes Rendus Acad. des Sciences, 1930, v.190, N 9, p.582-584.

13. **D. Ivanenko.** The Neutron Hypothesis. — Nature, 1932, v.129, p.798; Neutronen und Kernelektronen. — Physikalishe Zeitschrift der Sowietunion, 1932, Bd. 1, H. 6, S. 820-822; Sur la constitution des noyaux atomiques. — Comptes Rendus Acad. des Sciences, 1932, N 7, p.439-441.

14. **П.А. Черенков.** Видимое свечение чистых жидкостей под действием гамма-радиации. — ДАН СССР, 1934, т.2, с.451.

15. **С.И. Вавилов.** О возможных причинах синего гамма-свечения жидкостей. — ДАН СССР, 1934, т.2, с.457.

16. **И.Е. Тамм, И.М. Франк.** Когерентное излучение быстрого электрона в среде. — ДАН СССР, 1937, т.14, с.107-114.

17. **I.V. Kurtchatov, B.V. Kurtchatov, L.V. Myssowsky, L.I. Roussinov.** Sur un case de radioactive artificielle provoquee par un bombardment de neutrons, sans capture du neutron. — Comptes Rendus Acad des Sciences, 1935, v.200, p.1201-1203.

18. **W. Heisenberg.** Über den Bau der Atomkerne. — Zeitschrift für Physik, 1932, Bd. 77, S.1-11.

19. **И.Е. Тамм.** Обменные силы между нейтронами и протонами и теория Ферми. — В кн.: Собрание научных трудов. — М.: Наука, 1975, с.287-288; Nature, 1934, v.133, p.981-982.

20. **N. Bohr.** Neutron Capture and Nuclear Constitution. — Nature, Feb.29, 1936, p.344-370.

21. **J. Frenkel.** On the Solid Body Model of Heavy Nuclei. — Physikalische Zeitschrift der Sowietunion, 1936, Bd.9, S. 533-536.

22. **А.Ф. Иоффе.** Отчет о работе физико-технического института. — УФН, 1936, т.16, вып.7, с.847-871.

23. **O. Hahn, F. Strassmann.** Über den Nachweis und das Verhalten der bei Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. — Die Naturwissenschaften, 6 Jan., 1939, Bd. 27, H. 1, S. 11.

24. **L. Meitner, O.R. Frisch.** Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction. — Nature, Feb. 11, 1939, v.143, p.239-240.

25. **W.H. Zinn, L. Scilard**. Emission of Neutrons by Uranium. — Phys. Rev., 1939, v.56, N 7, p.619-624.

26. **F. Perren.** Calcul relatif aux conditions eventuelles de transmutation en chaine de l'uranium. — Comptes Rendus Acad des Sciences, 1939, v.208, p.1394; p.1573.

27. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон**. К вопросу о цепном распаде основного изотопа урана. — ЖЭТФ, 1940, т.9, вып. 12, с.1425-1427.

28. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон.** О цепном распаде урана под действием медленных нейтронов. — ЖЭТФ, 1940, т.10, вып.1, с.29-36.

29. **К.А. Петржак, Г.Н. Флеров**. Спонтанное деление урана. — ЖЭТФ, 1940, т.10, вып.9, с.1013-1017.

30. **А.П. Гринберг, В.Я. Френкель.** Игорь Васильевич Курчатов в Физико-техническом институте (1925-1943 гг.). — Л.: Наука, 1984, 181 с.

31. Атомное ядро. Сборник докладов I Всесоюзной конференции. — ГТТИ. Л.-М.: 1934, 227 с.

32. **Н.А. Добротин.** II Всесоюзная конференция по атомному ядру. — УФН, 1937,т.18, вып.4, с.583-592.

33. **В.Г. Левич.** III Всесоюзное совещание по атомному ядру. — УФН, 1939, т. 21, вып. 1, с.75-81.

34. **С.Я. Никитин.** Всесоюзное совещание по вопросам физики атомного ядра. — УФН. 1940, т. 23, вып. 2, с. 196-202.

35. **И.В. Курчатов.** Всесоюзное совещание по физике атомного ядра; Деление тяжелых дер. — В кн.: Избранные труды. Том 2. Нейтронная физика. — М.: Наука, 1983, с. 324-347.

Таблица 1

Мероприятия и приоритетные публикации по ядерной физике в СССР в предвоенные годы

Год	Автор(ы)	Название работы	Литература
1918	А.Ф. Иоффе	Создание Государственного рентгенологического и радиологического института — прообраза ЛФТИ	А.Ф. Иоффе. О физике и и физиках. Л., Наука, 1985, с. 487-520.
1926	V.A. Fock	Zur Schrцdingerschen Wellenmechanik	Zeitschrift fur Physik, 1926, Bd. 38, H. 2/3, s. 242-250.
1928	G. Gamov	Zur Quantentheorie des Atomkernes	Zeitschrift fur Physik, 1928, Bd. 51, H. 3/4, s. 204-212.
1930	V. Ambarzumian D. Ivanenko	Les electrons inobservables et les rayons β	Comptes Rendus Acad. des Sciences, 1930, v. 190, p.582-584.
1932	D. Ivanenko	The Neutron Hypothesis	Nature, Apr. 21, 1932, v. 129, p. 798.
1934	П.А. Черенков	Видимое свечение чистых жидкостей под действием γ-радиации	ДАН, 1934, т. 2, с. 451.
1934	С.И. Вавилов	О возможных причинах синего γ-свечения жидкостей	ДАН, 1934, т. 2, стр. 457.
1935	I.V. Kurchatov, B.V. Kurchatov, L.V. Myssowsky, L.I. Roussinov	Sur un case de radioactive artificielle provoquee par un bombardment de neutrons, sans capture du neutron	Comptes Rendus Acad. des Sciences, 1935, v. 200, p. 1201-1203.
1936	J. Frenkel	On the Solid Body Model of Heavy Nuclei	Physikalische Zeitschrift der Sowietunion, 1936, Bd. 9, s. 533-536.
1937	И.Е. Тамм, И.М. Франк	Когерентное излучение быстрого электрона в среде	ДАН, 1937, т. 14, с.107-114.
1939	Г.Н. Флеров	Определение числа вторичных нейтронов на акт деления урана	УФН, 1940, т. 23, вып. 2, с. 199-200.
1939	Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон	К вопросу о цепном распаде основного состояния урана	ЖЭТФ, 1939, т. 9, вып. 12, с. 1425-1427.
1939	Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон	О цепном распаде урана под действием медленных нейтронов	ЖЭТФ, 1940, т. 10, вып. 1, с. 29-36.
1940	К.А. Петржак, Г.Н. Флеров	Спонтанное деление урана	ЖЭТФ, 1940, т. 10, вып. 9-10, с. 1013-1017.
1940	И.В. Курчатов	Деление тяжелых ядер. 5 Всесоюзное совещание, Москва	Изв. АН СССР, 1941, сер. физ., т. 5, № 4-5,с. 578-587.
1940	Ленинградский радиевый институт	Пуск первого циклотрона в Европе	А. Гринберг, В. Френкель, И.В. Курчатов в ФТИ (1925-1943).

Таблица 2

Производственно-техническое обеспечение ядерно-физических исследований в предвоенные годы

Виды работ	Название организации	Руководитель
Электротехническое оборудование для ускорителей	завод "Электросила", Ленинград	Д.В. Ефремов
Вакуумная электроника и вакуумная техника	завод "Светлана"	С.А. Векшинский
Криогенная техника	Украинский ФТИ, Харьков Институт физ. проблем, Москва Уральский ФТИ, Свердловск	

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ В СССР (1934—1954)

В.В. Игонин

1. НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА В СССР ДО ПОСТАНОВКИ УРАНОВОЙ ПРОБЛЕМЫ

§1 Опуская все элементы исследований по направлению физики ядра и элементарных частиц до 30-х годов (все достаточно заметные исследования, которые были выполнены в СССР, а также в России до 1917 г.), отметим отдельные принципиальные результаты в "доделительном" десятилетии. Это, прежде всего, первое применение только что созданной квантовой механики к проблеме ядра, а именно, создание теории альфа-распада Г.А. Гамовым (1928-1930 гг.) на основе концепции туннельного эффекта. После Гамова и другие авторы пользовались квантовой механикой для решения задач, связанных с радиоактивностью и ядерными превращениями. Важно также и то, что Гамовым впервые было показано, что, в отличие от механики, существует общее, имеющее принципиальное значение явление — туннельный эффект, — которое оказалось фундаментальным свойством микросистем, играющим решающую роль в процессах микромира.

Следует отметить, наряду с особо принципиальным теоретическим результатом Гамова, столь же фундаментальные экспериментальные работы П.Л. Капицы и Д.В. Скобельцына, выполненные несколько ранее. Капица провел ряд тонких экспериментов по измерению вариации скоростей пробега альфа-частицы, а также по измерению ее энергии, модифицировав камеру Вильсона посредством внешнего магнитного поля. Но если Капица работал у Резерфорда, то Скобельцын — в СССР. Скобельцын значительно расширил возможности камеры Вильсона как прибора для количественных измерений и в дальнейшем широко использовал при изучении гамма-лучей по энергии комптоновских электронов и для наблюдения космических частиц. (На одной из фотографий, полученных Скобельцыным, был впервые зафикси-

рован, однако не идентифицирован, след позитрона еще до его открытия.) Нельзя не отметить, что для регистрации следов частиц за длительный промежуток времени советским физиком Л.В. Мысовским с сотрудниками был разработан метод ядерных эмульсий (фотопластинок, 1929 г.).

§2 С именем Мысовского связана также идея создания ускорителей заряженных частиц. Еще в 1922 г. он выдвинул задачу о разработке установки для получения "искусственных α-частиц". Вскоре в ГРИ была создана лабораторная модель такой установки — высоковольтная установка прямого метода ускорения. (К слову, еще в 1914 г. по предложению В.К. Аркадьева в университете Шанявского был собран первый действующий генератор по схеме импульсного генератора с искровым переключением.) Здесь следует сказать также, что в СССР разработкой ускорителя с использованием трансформатора Тесла занимались в ГРИ почти одновременно с работами группы американских исследователей. Затем подобные работы велись в УФТИ и группой работников СибФТИ (Томск).

Небезынтересно отметить, что в УФТИ были проделаны опыты по искусственному расщеплению ядер (лития и фтора). Это были, пожалуй, единственные опыты, повторившие результаты, достигнутые Дж. Кокрофтом и Э. Уолтеном на Тесла-трансформаторе. Наконец, отметим, что один из первых импульсных (ударных) генераторов в СССР был установлен в лаборатории П.И. Лукирского (ЛГУ, 1931 г.). С того же года в Ленинградском электрофизическом институте был задействован импульсный генератор (на 1750 кВ), который вскоре стал использоваться в исследованиях, проведенных в ЛФТИ группой под руководством Л.А. Арцимовича. Одновременно с работами, которые проводились в Ленинграде (с импульсным генератором до1,5 МВ), аналогичные работы вела группа УФТИ.

Работы по генераторам постоянного напряжения (каскадным генераторам) были начаты в СССР в ЛФТИ и УФТИ. В ЛФТИ установка была построена наподобие генератора Кокрофта и Уолтена (И.В. Курчатов, К.Д. Синельников, А.К. Вальтер, Г.Я. Щепкин). На этой установке группой под руководством Курчатова проведены исследования ядерных реакций с ядрами лития и бора. В УФТИ работы были начаты в 1932 г. На созданной установке 11.10.32 г. было проведено расщепление ядер лития (К.Д. Синельников, А.И. Лейпунский, А.К. Вальтер и Г.А. Латышев — это, собственно, было сделано в СССР впервые). Одновременно выяснилось, что для расщепления бора, алюминия и других более тяжелых элементов требуются большие напряжения.

Заканчивая на этом обзор работ на первом этапе исследований с разрабатываемыми источниками высокого напряжения (и разрядными трубками к ним), констатируем, что пути, которыми шли исследователи Западной Европы, Америки и Советского Союза, были идентичными. Более того, эти пути непрерывно перекрещивались, часто совпадали; результаты, най-

денные в разных местах, дополняли друг друга, создавая необходимую базу для дальнейших поисков. И если по числу установок того или иного типа Запад шел впереди, то по качественному показателю уровень работ был одинаковым, а сами установки обладали одинаковыми возможностями. К качественно же новому результату, обеспечившему очередной скачок вперед по пути познания структуры вещества, приведут метод электростатического генератора Ван-де-Граафа и резонансный метод Лоуренса (циклотрон).

§3 Само собой, что, не разобравшись с проблемами и теорией атома, без завершения квантовой механики, исследования по физике ядра не могли быть развернуты во всей их должной широте и необходимом объеме. Что касается вопросов развития теории атома в СССР (Д.С. Рождественский, Ю.А. Крутков, В.А. Фок, Л.Н. Мандельштам, И.Е. Тамм, Л.Д. Ландау, Я.И. Френкель, М.А. Марков, Д.И. Блохинцев, Я.П. Терлецкий), а также приложений квантовой механики к атомным проблемам (В.А. Фок, Г.А. Гамов, М.А. Леонтович и др.), о которых на примере работ Гамова выше упоминалось, то эти исследования по собственно квантовой теории выходят далеко за рамки данного доклада.

§4 Здесь упомянем еще некоторые работы в Советском Союзе по ядерным расщеплениям. Выше отмечалось, что эксперименты Кокрофта и Уолтена были сразу же воспроизведены в двух лабораториях: в Харьковском физтехе (Вальтер, Синельников и др.) и Ленинградском физтехе (Курчатов с сотрудниками), а также в Калифорнийском университете (Лоуренс, Ливингстон, Уайт)[1].

Следует отметить, что Кокрофт и Уолтен сообщали о расщеплении протонами также и других более тяжелых элементов, в частности, меди. Однако эти результаты были ошибочными: отрицательный результат (на меди) первыми однозначно определили в Харькове. А негативный результат на меди, полученный в УФТИ, имел тогда принципиальное значение (Кокрофт и Уолтен упоминали даже серебро и свинец). Небезынтересно, что опыты по расщеплению лития протонами, выполненные в Англии, США и УФТИ (СССР), стали первой проверкой соотношения Эйнштейна между массой и энергией — на его основе выяснена проблема источника относительно аномально высокой энергии α-частиц — продуктов расщепления лития. Упомянем еще один принципиальный элемент, вылившийся из отмеченных экспериментов. Резерфорд, Олифант и Кинси установили наличие двух групп короткопробежных частиц, испускаемых при расщеплении лития, а К. Лауритсен и Г. Крэйн — сопровождающее реакцию гамма-из-

---

[1] Сообщения об опытах в СССР и США опубликованы одновременно в октябре 1932 г. Показательно, что результаты расщепления лития протонами получены в СССР на двух разных ускорителях.

лучение. Объяснение этому было вскоре дано И. Курчатовым и К. Синельниковым и, независимо, почти одновременно, — группой из лаборатории Резерфорда. Курчатов и Синельников вводят гипотезу о реакции на ^{7}Li с привлечением еще реакции на ^{6}Li с расщеплением на α-частицу и "остаток, являющийся легкой разновидностью гелия" (хотя такой изотоп гелия еще никогда до этого не наблюдался). Схема реакции, данная Курчатовым и Синельниковым, позволила вычислить массу легкого изотопа гелия (одновременно гипотеза о ^{3}He высказана была в Кембридже). Существенно, что не прошло и трех месяцев со дня выдвижения гипотезы "легкого гелия", как последний стал достоверностью благодаря работе У. Бликни, Г. Хорнуэлла и других (США).

Наконец, отметим еще одну реакцию (p, α), осуществленную Кокрофтом и Уолтеном — расщепление ^{11}B пучком протонов. В схеме реакции, данной авторами, выпадали 2 МэВ. Выход из затруднения был найден исследованиями в ЛФТИ (Курчатов, Щепкин). Ими было показано, что на каждый процесс расщепления ядра бора излучается по одному кванту гамма-лучей с энергией 2 МэВ. (Кирхнером была предложена и иная схема реакции расщепления бора — образование α-частицы и ядра ^{8}Be). Не останавливаясь на других примерах, можно резюмировать, что в итоге исследований, проведенных как за рубежом, так и в Советском Союзе, на первом этапе осуществления ядерных реакций на ускорителях была выяснена необходимость наличия пучка протонов со значительно большей энергией (в частности, для расщепления тяжелых элементов). А для этого необходимо было создать новые типы "ионных пушек" (превышающих 2 МэВ). Работы по этому направлению уже проводились в Америке (Ван-де-Грааф и Лоуренс), Англии (Кокрофт, Уолтен и др.), СССР (Мысовский, Курчатов — в Ленинграде; Лейпунский, Синельников, Вальтер — в Харькове).

§5 В истории физики атомного ядра и элементарных частиц 1932 год оставил неизгладимый след. В известном смысле он стал поворотным пунктом, от которого идут нити к современной ядерной науке и технике. В 1932 г. была осуществлена первая искусственная ядерная реакция под действием ускоренных частиц, полученных на специальных установках. В том же году в практику научных лабораторий вошел циклотрон. Наконец, открытие позитрона и нейтрона относится также к 1932 г. Конечно, "сейчас представляется удивительным, что нейтрон был открыт столь поздно" (Д.Д. Иваненко). Но так случилось в истории, хотя предположения и экспериментальные "улики" для его обнаружения были (Э. Резерфорд, 1920 г.; В. Боте и К. Беккер, 1930 г.; опыты с "лучами Боте" супругов И. и Ф. Жолио-Кюри, 1932 г.).

Нейтрон был открыт Дж. Чедвиком (февраль 1932 г.) в опытах с α-частицами, бомбардирующими диск из бериллия (d = 2 см). На пути "лучей бериллия" помещались различные радиаторы (из парафина, лития,

бора, углерода и др.). Первыми, кто проверил "смелую интерпретацию Чедвика", были И. и Ф. Жолио-Кюри. После их обстоятельных исследований нейтрон стал реальностью. Благодаря экспериментальному искусству супругов Жолио-Кюри, были сделаны два важных открытия: превращение γ-кванта, являющегося одной из компонент бериллиевого излучения, в электрон-позитронную пару в поле ядра и открытие искусственной (наведенной) радиоактивности. Однако оставались два архиважных вопроса: что такое нейтрон и роль его в ядерном мире. В научной обстановке первой половины 1932 г. (в мае) появились имеющие приоритетное значение работы по строению ядра Д.Д. Иваненко (сотрудника ЛФТИ). Именно ему открытие новой ядерной частицы (нейтрона) позволило в корне изменить концепцию о ядерных электронах — окончательно утверждать об отсутствии электронов в ядре и выдвинуть гипотезу о том, что ядро состоит только из протонов и нейтронов (равно как и утверждать об отсутствии также позитронов в ядре). Одновременно с этими утверждениями снималась (Иваненко) концепция о нейтроне как системе "протон + электрон", а также протоне — как "нейтрон + позитрон". (Однако, истины ради, надо подчеркнуть, что некоторыми авторами целиком не отвергалась концепция о сложности нейтрона, например, Ф. Перреном, а также В. Гейзенбергом). Но, пожалуй, для ядерной физики 30-х — отчасти и позже — концепция об элементарности нейтрона и протона, как относительная истина на данном историческом этапе, была предпочтительней, действенней[1].

Отметим также, что по Иваненко "необходимо приписать нейтрону статистику Ферми-Дирака и значение спина 1/2", а также — исходя из разности масс нейтрона и протона по Жолио-Кюри — предполагать "нестабильность нейтрона".

§6 В 1930 г. П. Дираком фактически было предсказано открытие новой частицы — позитрона (точнее, теоретически обусловлена возможность существования таковой частицы). Однако в построениях Дирака были в наличии и трудности, и нерешенные вопросы. Не останавливаясь подробно, отметим, что в работах И.Е. Тамма (1930 г.), посвященных дираковской релятивистской квантовой механике электрона, были сняты некоторые отмеченные трудности, а в работах В.А. Фока по теории позитрона (1933 г.) дана математическая формулировка теории состояний электронов с отрицательной энергией и сделана попытка установить общий вид волновых уравнений в конфигурационном пространстве электронов и позитронов. При этом им обнаружен ряд трудностей, присущих самой теории Дирака. Но в связи с концепцией позитрона встали проблемы "рождения электрон-

---

[1] В работе [1, стр.52] Иваненко счел нужным оговорить "факт, что вовсе не предполагает сложности (протона и нейтрона — [В.И.]), по крайней мере, в смысле волновой механики... Напротив... ".

позитронной пары" и "аннигиляции" с превращением в γ-фотоны. В этой связи следует констатировать, что превращение γ-кванта в пару позитрон-электрон и обратный процесс — превращение позитрона и электрона в жесткие γ-кванты — с самого начала открытия подверглись внимательному изучению советскими физиками Д.В. Скобельцыным, И.М. Франком, Л.В. Грошевым, А.И. Алихановым, Б.С. Джелеповым, М.С. Козодаевым и другими.

Так, с полной достоверностью испускание позитронов при радиоактивном распаде было доказано в исследованиях группы А.И. Алиханова, равно как и проведено детальное изучение основных закономерностей образования позитронов γ-лучами. Но, что более важно, ими было открыто (1934 г.) испускание позитронов тяжелыми радиоактивными ядрами, происходящее в результате внутренней конверсии энергии возбужденного ядра. Кратко упомянем также, что при аннигиляции позитрона при встрече со свободным электроном действительно образуются два фотона, разлетающиеся в противоположных направлениях. Это с полной достоверностью показали опыты Алиханова, Арцимовича и Алиханяна (и тем самым было дано убедительное обоснование сохранения импульса).

Нельзя не упомянуть о работах группы Алиханова по искусственно наведенной радиоактивности, открытой Жолио-Кюри (1934 г.) — по искусственной позитронной радиоактивности. Это и исследование выхода радиоактивных ядер под воздействием α-частиц, проведенное впервые (Алиханов, Алиханян, Джелепов), и открытие нового вида искусственной β-радиоактивности с испусканием электронов (наряду с β^+-распадом был вызван искусственный β^--распад). Небезызвестны также работы группы Алиханова по измерению верхних границ β-спектров и распределению электронов и позитронов по энергиям от искусственно радиоактивных элементов.

§7 Теперь необходимо отметить искусственную радиоактивность под действием нейтронов. Но прежде остановимся на факте организации и проведения I Всесоюзной конференции по физике ядра в СССР (1933 г., 24-30 сентября, Ленинград), которую по многочисленности участников и широте программы можно приравнять к международной конференции. С докладами выступали П. Дирак, Ф. Жолио-Кюри, Ж. Перрен, Л. Грей (Кембридж), Г. Гамов, Д. Скобельцын, С. Фриш, Ф. Разетти, К. Синельников, А. Лейпунский (Харьков), Д. Иваненко, В. Вайскопф, А. Вальтер, Л. Штрум, Гвидо Бек (Прага) и другие. В дискуссиях активно участвовали И. Курчатов, А. Иоффе, С. Вернов, А. Вериго, Я. Френкель, В. Фок, И. Тамм. Отметим доклады Ф. Жолио-Кюри (нейтроны), Иваненко (модель ядра), Дирака (теория позитрона), Разетти (определение магнитных моментов ядер по сверхтонкому строению спектральных линий), Лейпунского (расщепление ядер, в частности, нейтронами) и другие. Обратим внимание, что по

нейтронной физике состоялись доклады Жолио-Кюри (Франция) и Лейпунского (СССР), по материалам, разумеется, полученным в конце 1932 г. — начале 1933 г.

В 1934 г. были опубликованы работы Э. Ферми, в которых была показана возможность получения искусственно радиоактивных веществ посредством нейтронной бомбардировки. Симптоматично, что результаты Ферми были опубликованы в июне 1934 г., а уже 7 июля того же года И. Курчатов, Л. Мысовский, Г. Щепкин и А. Вибе представляют в ДАН СССР работу "Эффект Ферми в фосфоре", в которой обнаруживают, что фосфор дает радиоактивность с еще одним периодом полураспада (3 мин.), кроме обнаруженного Ферми (с периодом полураспада 3 часа). За этой первой работой по искусственной радиоактивности, наведенной нейтронами, группой Курчатова была опубликована целая серия работ (всего 26 работ), обобщенных в 1935 г. в монографии Курчатова "Расщепление атомного ядра" [2]. Оценивая выполненные группой Курчатова исследования, которые были проведены вслед за открытием искусственной радиоактивности, вызванной нейтронным облучением, констатируем, что была проделана значительная работа по накоплению экспериментального материала по данному вопросу. При этом были получены новые результаты (равно как подтверждены или исправлены уже известные), а в некоторых случаях высказаны соображения принципиального характера, имевшие значение более широкое, чем конкретный эмпирический материал. Остановимся на одном из таковых принципиальных результатов — первых данных по облучению нейтронами урана (которым Курчатовым уделено пристальное внимание в монографии).

Курчатов подробно рассмотрел полученный результат и результат Ферми, а также предположение последнего, что продуктом облучения является 93-й элемент. В итоге критической оценки имевшихся "за" и "против" этого предположения Курчатов резюмирует: "...Хотя возможность образования 93-го элемента рассматриваемым путем и является сомнительной, все же исследования урана представляют очень большой интерес и, несомненно, в дальнейшем приведут к ряду существенных результатов" [2, с. 198]. (Напомним, что это сказано в 1935 г. на заре исследований взаимодействия нейтронов с ураном). И интуиция большого ученого его не подвела! На других существенных результатах отмеченной серии работ группы И.В. Курчатова мы останавливаться не можем (возбужденные состояния ядер со временем ~ 10^{-16} с, вопрос о замедлении нейтронов в воде, парафине, углероде и др., проблема рассеяния и поглощения нейтронов, в частности, захвата быстрых нейтронов, ядерные реакции с медленными нейтронами и др.).

Однако, на одном фундаментальном вопросе мы задержимся. В ряду работ по наведенной радиоактивности было сделано открытие ядерной изомерии искусственно радиоактивных изотопов. Это явление впервые было обнаружено при исследовании наведенной нейтронным облучением радиоактивности брома (в РИАНе) И.В. Курчатовым, Л.В. Мысовским, Б.В. Кур-

чатовым и Л.И. Русиновым в 1935 г. (В опытах, проведенных группой Курчатова, у радиоброма был обнаружен третий период распада, т.е. оказалось, что существует изотоп брома в двух изомерных состояниях — факт, в который не поверили даже некоторые зарубежные исследователи.) Последующие работы Курчатова с сотрудниками по изучению изомерии также стали фундаментальными и сыграли решающее значение. Так, Курчатов предположил, что переход из изомерного состояния в основное происходит не путем испускания фотонов, а путем внутренней конверсии (что им с сотрудниками и было затем доказано). Эти работы привели Вейцзеккера к объяснению ядерной изомерии посредством существования метастабильного уровня ядра.

Существенным следствием теории Бора — Вейцзеккера о природе ядерной изомерии являлось предположение нового типа радиоактивного распада — самопроизвольной радиоактивности с относительно большим средним временем жизни, связанной с переходом метастабильного ядра в основное состояние. В 1938 г. Л. Русиновым и А. Юзефовичем в лаборатории Курчатова — на примере изомерного брома — было открыто конверсионное излучение изомеров (Одновременно с Русиновым и Юзефовичем излучение на примере родия было открыто Б. Понтекорво).

§8 Теория β-распада Ферми, как оказалось, содержала одно весьма принципиальное следствие решающего значения — возможность предвидеть наличие особых сил взаимодействия между нуклонами, так называемых обменных сил. Идея, что гипотеза Ферми влечет существование особых (обменных) сил взаимодействия нуклонов, была высказана впервые И.Е. Таммом и Д.Д. Иваненко в 1934 г., предложившими одну из первых теорий ядерных сил. Самое же вычисление этих сил впервые было выполнено Таммом (в предположении обмена парами частиц — электроном и нейтрино), показавшим, что так в принципе можно описать взаимодействие между ядерными частицами. Хотя результаты Тамма и Иваненко в рамках электронно-нейтринной теории ядерных сил и оказались малоудовлетворительными, однако впервые была доказана возможность переноса взаимодействия частицами конечной массы (с реализацией факта короткодействия сил и включением спиновых и нецентральных сил).

После работ Юкавы, предположившего в качестве квантов ядерного поля гипотетические мезоны и предвосхитившего тем самым открытие мюонов, а затем и пионов, советские теоретики подробно развили теорию различных возможных мезонных уравнений: скалярного, векторного, псевдоскалярного, псевдовекторного типов и построили впервые мезодинамику нейтрального мезонного поля (в частности, Иваненко, Соколов и др.).

Теперь с особой актуальностью вставал вопрос об установлении точного закона ядерных сил — центральная проблемы физики, не говоря уже о физике ядра и элементарных частиц. Поэтому важнейшей для развития

строгой теории атомного ядра являлась — и все еще является — задача накопления экспериментальных данных о свойствах различных ядер, о ядерных реакциях и взаимодействии элементарных частиц.

Большая программа экспериментальных исследований ядерных реакций под действием нейтронов была выполнена группой Курчатова (Мысовский, Курчатов, Добротин, Гуревич, Латышев, Будницкий, Арцимович и др.) И, прежде всего, — по рассеянию и поглощению (быстрых и медленных) нейтронов. При этом выяснились комплексно связанные процессы рассеяния и замедления нейтронов, переплетающиеся с явлением поглощения нейтронов, которое обнаруживает избирательное (селективное) свойство. В частности, достигнуты два важных результата: захват нейтрона протоном с образованием ядра тяжелого водорода и обнаружение резонансного эффекта в процессе поглощения нейтронов ядрами вещества. Особенно существенные результаты были достигнуты в связи с детальным анализом, которому был подвергнут процесс замедления нейтронов в водородсодержащих соединениях.

Наличие обширного экспериментального материала с его фундаментальными данными по селективному поглощению медленных нейтронов и по исследованию взаимодействия нейтронов и протонов с надежным измерением (И. Курчатов) сечения реакции образования системы протон-нейтрон вызвало появление серии замечательных теоретических работ по этим вопросам. Это прежде всего работы Я.И. Френкеля по статистической теории атомных ядер, а также работы Л.Д. Ландау, И.Я. Померанчука, В.И. Мамасахлисова, И.Е. Тамма, Д.И. Блохинцева и др.

§9 Боровская схема ядерных реакций, как известно, приводит к следствию о независимости второй фазы реакции — распада составного ядра — от первой ее фазы. Сам же процесс распада ядра практически полностью определяется свойствами возбужденных состояний промежуточного ядра (энергия, спин, четность). Этому вопросу и было уделено пристальное внимание Я.И. Френкеля, выдвинувшего основные идеи статистической теории ядра. Уже через две недели после опубликования заметки Бора Френкель впервые применяет к возбужденному ядру понятие температуры как параметра, характеризующего возбуждение системы. Предположение о "температуре ядра" он далее развертывает в рамках "твердой", по его терминологии, модели ядра и показывает, что второй этап реакции может быть представлен как процесс испарения из конденсированной фазы. Это представление об "испарении" нуклонов из возбужденных ядер, впервые введенное Френкелем, является в настоящее время общепринятым. (Оно вскоре было широко использовано Бором в его работе "О превращениях ядер" — 1937 г. [3]). Заметим попутно, что статистическая теория получила необходимую четкость в своих обоснованиях и в установлении присущего ей круга задач в работах Ландау. И заметим также, что хорошо известна роль, которую сыграла работа Вайскопфа по статистической теории ядра,

но работа Френкеля была выполнена еще до появления работы Вайскопфа. Таким образом, Френкелю, наряду с Вайскопфом, принадлежит честь фундаментального развития статистической теории ядра. (Небезынтересно, что, в частности, для заряженных частиц, по Френкелю, энергетическое распределение по энергиям, в первом приближении максвелловское, должно иметь "отклонение от максвелловского распределения в сторону преобладания частиц с большей энергией" [4]).

Теперь необходимо сделать хотя бы краткие замечания по экспериментальным исследованиям в СССР в связи с созданием фундаментальной боровской модели компаунд-ядра. В статистической теории процесс захвата нейтронов ядром, равно как и обратный процесс, трактуется как проблема многих тел. Селективное поглощение нейтронов интерпретируется как резонансный эффект взаимодействия нейтронов с виртуальным уровнем сложного ядра. А по Курчатову — "свойства поглощения бором позволяют устанавливать положение резонансных уровней ядра". (В частности, также и в опытах на диспрозии, выполненных в лаборатории Курчатова Мещеряковым и Гуревичем.) Другой важной характеристикой при захвате нейтрона является ширина резонансного уровня. В этом направлении отметим эксперименты А. Арсеньевой-Хейль и др., А. Лейпунского и Л. Русинова (о поглощении нейтронов в серебре, кадмии и боре при различных температурах), Л. Арцимовича и Г. Хромова (а также Понтекорво и Вика, Курчатова и Вергунаса) — в опытах по отражению медленных нейтронов от таких элементов, как железо. Что касается исследований взаимодействия ядер с быстрыми нейтронами в задаче определения зависимости нейтронной и радиационной ширин от энергии возбуждения, то в этом направлении следует отметить опыты Лейпунского, Русинова и Тимощука (УФТИ), а также опыты Мещерякова (уже на циклотроне).

В опытах последнего по сечению захвата быстрых нейтронов (~2 МэВ) была обнаружена нерегулярность этих сечений — факт, послуживший в дальнейшем одним из опытных, положенных в основу при создании Гепперт-Майер и Иенсеном оболочечной модели ядра. А в исследованиях по измерению эффективных сечений упругого и неупругого рассеяния быстрых нейтронов, выполненных Лейпунским с сотрудниками на двадцати элементах (от ^{2}D до Pb), выяснены соотношения между отдельными видами рассеяния в общем процессе рассеяния нейтронов.

Как видим, все основные проблемы нейтронной физики находились в центре внимания советских исследователей с самого ее возникновения (ЛФТИ и РИАН — в Лениграде, ФИАН — в Москве, УФТИ — в Харькове и в других институтах в конце 30-х годов).

§10 В связи с исследованиями Мещерякова упоминался циклотрон — первый в СССР. Идея создания циклотронной установки возникла в ГРИ вскоре после опубликования Лоуренсом и Ливингстоном первых работ, в

которых излагается принцип работы циклотрона. Инициатива при этом и тип установки принадлежали Л.В. Мысовскому, обосновавшему необходимость создания циклотрона (1932 г.). На установке в ГРИ в марте 1937 г. В.Н. Рукавишниковым был получен пучок ускоренных протонов с энергией 1,2 МэВ, доведенной к концу лета до 3 МэВ, и пучок ионов гелия с энергией несколько выше 1 МэВ. Как известно, циклотрону ГРИ суждено было в дальнейшем сыграть роль, выходящую за рамки одного института. Он был привлечен Курчатовым на службу развития исследований по ядерной физики вообще. Работы по сооружению и запуску этого первого в Европе циклотрона были выполнены Л. Мысовским, И. Курчатовым, В. Рукавишниковым, Д. Алхазовым, М. Мещеряковым, В. Джелеповым, Я. Рощиным и др.

Основываясь на опыте создания и применения в исследованиях по ядерной физике первого в СССР циклотрона, Курчатов вместе с Алихановым решают строить новый большой циклотрон в Физико-техническом институте (Ленинград). Они же возглавляют его проектирование, используя знания циклотронной техники и теории, уже приобретенные на циклотроне ГРИ. С ними работают Л.М. Неменов, В.П. Джелепов, Я.Л. Хургин. Электротехнической частью проекта руководит профессор Политехнического института Д.В. Ефремов.

Мы не можем останавливаться на работе по созданию этого, долженствующего быть тогда самым большим в мире, циклотрона, тем более, что его запуск состоялся только вскоре после войны (Москва). Однако на одной важной работе по теории циклотрона, выполненной еще в начале 1938 г., необходимо задержаться. Мы имеем в виду работу Я. Хургина "О верхнем пределе энергии ионов, могущих быть полученными при помощи циклотрона". Эта работа сыграла весьма существенную роль при последующем создании различных циклотронных установок. Опуская все соответствующие теоретические выкладки, учитывающие прежде всего релятивистскую зависимость массы ускоряемой частицы от ее энергии, Хургин получает условие для предельного значения энергии, из которого следует прямая зависимость между амплитудой высокочастотного ускоряющего напряжения и конечной энергией ускоренных ионов. А это был результат принципиального значения. (Заметим, что в работе [5] был получен иной результат в оценке предельной энергии. Однако это была, как указал Хургин, ошибка.)

Теперь несколько замечаний по ЭСГ в Советском Союзе. Накопленный опыт по постройке и эксплуатации электростатических генераторов позволил приступить уже в середине 30-х годов к строительству двух гигантских генераторов: на 2МВ — в Ленинградском электро-физическом инстиуте и на 6МВ — в Украинском физико-техническом (в однополюсном варианте). В последнем случае учитывался весь опыт работы с генераторами меньших габаритов, по которому следовало отказаться от исторически первого варианта генератора с двумя шарами (затруднения с горизонтально расположенной разрядной трубкой, с размещением экспериментаторов и аппарата внутри

кондуктора (шара)). Для ускорителя было построено специальное здание и разработана и создана достаточно надежная разрядная трубка (длиной 12 м).

В пуско-наладочных работах, проведенных с ускорением электронов, в трубке получили пучок с энергией 2,5 МэВ при электронных токах порядка 50-60 мкА. Предельное напряжение, которое могло быть достигнуто на генераторе, ~ 6 МВ.

Не останавливаясь на других ускорительных установках, созданных в 30-х годах в нашей стране, дадим краткий перечень отдельных исследований по конкретным вопросам. Это работа Курчатова, Алхазова, Мещерякова и Рукавишникова о диффузном излучении нейтронов циклотроном; работа Иоффе и Гохберга по моделям ЭСГ; Синельникова, Вальтера и Джиан — об оптимальной конфигурации кондукторов ЭСГ; Корсунского, Готта и Ланге — о получении больших ионных токов в инжекторах; Ланге и Шпинеля — о структуре спектра катодных лучей импульсных трубок и др.

Резюмируя, подчеркнем, что и в области создания мощных ускорителей (и их разновидностей), и в области теории ускорителей, и по конкретным вопросам ускорительной техники в СССР в 30-х годах была проделана значительная работа, заложившая тот фундамент, который стал основой нового подъема ядерной науки в стране со второй половины 40-х годов (собственно, уже с 1943 г.).

§11 Анализ предыстории урановой проблемы стал бы ущербным без привлечения некоторых принципиальных моментов из физики элементарных частиц и космических лучей, подпиравшей всегда собственно ядерную физику, а подчас тесно переплетавшуюся с ней. Так, на первом этапе физика элементарных частиц обеспечила ядерную науку теорией электрона, началами квантовой электродинамики, а физика космических лучей установила, что космическое излучение отличается от излучения радиоактивных веществ (Мысовский) и содержит в своем составе частицы высоких энергий. Во второй период физика элементарных частиц оказалась тесно связанной с ядрами — протоны, нейтроны, позитроны, нейтрино и, наконец, мезоны с их своеобразными свойствами и определенным отношением к проблеме ядерных сил.

Важным обстоятельством и для физики космических лучей, и для ядерной физики было открытие возможности ядерного расщепления космическими лучами, в частности, в ядерных эмульсиях (А.П. Жданов, А.Н. Филиппов, И.И. Гуревич и др.). Эти результаты опровергли исходную гипотезу ряда физиков (в частности, Эйлера и Гейзенберга), согласно которой, по словам Н.А. Добротина, ядерные процессы играют в космических лучах второстепенную, подчиненную роль. Во всяком случае, все яснее становилось, что на основе одного только электромагнитного взаимодействия нельзя объяснить все основные свойства космического излучения.

Дополнительные штрихи в этот вопрос внесло открытие так называемых ионизационных "толчков" космических лучей. Но наиболее эффективным методом для изучения сильно ионизирующих частиц и, в конечном итоге, открытия ядерных расщеплений в космических лучах явился метод толстослойных ядерных эмульсий. И самые значительные результаты в изучении ядерных расщеплений под действием космического излучения получил (с помощью ядерных эмульсий) А.П. Жданов с сотрудниками. При этом Жданову с сотрудниками принадлежат и первые оценки выходов и сечений для ядерных расщеплений под действием космического излучения.

Не менее важным как в физике космических лучей, так и в физике ядра и элементарных частиц, во второй половине 30-х годов был вопрос о природе и свойствах мезонов. И советским физикам принадлежит здесь достаточно весомый результат. Так, в частности, С.Н. Вернов, Л.Т. Барадзей и Ю.А. Смородин экспериментально доказали наличие спонтанного распада μ-мезонов. При этом рядом советских авторов (и одновременно некоторых зарубежных) было установлено, что среднее значение величины времени жизни $\tau_0 = 2{,}15 \cdot 10^{-6}$ сек. А это явно противоречило требованиям, предъявляемым к "квантам ядерного поля" ($\sim 10^{-9} \div 10^{-8}$ сек). Не менее важными явились в рассматриваемое время работы по исследованию "ионизационных толчков" (Скобельцын, Ландау, Мигдал и др.), в которых при изучении процессов образования δ-электронов наметился путь определения спина μ-мезона. В многочисленных и тонких экспериментах, а также обстоятельных расчетах (С. Вернов, О. Вавилов, Н. Григоров, И. Померанчук, А. Кирпичев, С. Беленький, а также Р. Юнг и И. Стритт, Р. Оппенгеймер и Сербер, Гайтлер, Р. Лэпп и др.) стало ясно, что экспериментальные результаты (по δ-электронам высоких энергий, выбитых μ-мезонами) согласуются с расчетами, если принять спин мезона равным 1/2.

Небезынтересны исследования отечественных физиков и по вопросам времени жизни движущегося μ-мезона и о продуктах его распада (Г. Жданов, А. Хайдаров; И. Тамм и С. Беленький и др., а также К. Андерсон и др.), равно как и широких атмосферных ливней, в которых, как выяснилось, определяющую роль играют ядерные процессы (Г. Зацепин и др.; Д. Скобельцын, В. Векслер, А. Алиханов, А. Алиханян; Л. Ландау, И. Померанчук, А. Мигдал, Н. Добротин и др.).

2. РЕАКЦИЯ ДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР. СОЗДАНИЕ В СССР ТЕОРИИ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР И ТЕОРИИ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ

§1 После обнаружения Ферми с сотрудниками появления в результате облучения урана нейтронами какой-то "странной" искусственной радиоактивности у нового ядра, возможно, в конечном итоге, зауранового (1934 г.), а также опытов Кюри и Савича (1938 г.) и строгого радиохимического

анализа О. Ганом и Ф. Штрассманом радиоактивных элементов, образующихся в результате облучения урана и тория нейтронами, Л. Мейтнер и О. Фриш высказали в начале 1939 г. предположение, что происходит не испускание β-частицы (Ферми), а деление составного ядра на две части ("осколки").

Экспериментальное подтверждение этого предположения было почти одновременно опубликовано Фришем [7] и Жолио-Кюри [8]; эксперименты, выполненные в США (Мейтнер, Хофстад, Альварец и др.), также подтвердили сделанное предположение. В Советском Союзе исследование деления в камере Вильсона было выполнено Н.А. Перфиловым [9]. А. Жданов и Л. Мысовский провели серию наблюдений деления урана с помощью толстослойных фотопластинок [10]. Но особенно интенсивная работа была развернута в ЛФТИ в лаборатории Курчатова — исследования деления урана нейтронами заняли центральное место в его лаборатории. И, что особенно важно, эти развертывающиеся исследования вскоре получили общетеоретическую основу в созданной Я.И. Френкелем уже весной 1939 г. первой количественной теории деления урана, направленной в ЖЭТФ [11] (получено редакцией 14.04.1939 г.), и также опубликованной на английском языке [12]. Одновременно один экземпляр статьи был послан Бору, а другой — Е. Хиллу (США). Изложение статьи, сделанное Хиллом, опубликовано в [13]. Заметим, что когда была опубликована несколько месяцев спустя работа Бора и Уилера [14], независимо развивших общую теорию явлений, протекающих в тяжелых ядрах при взаимодействии с нейтронами, авторы сочли необходимым указать (в подстрочном примечании), что основные формулы совпадают с формулами, выведенными Френкелем, как это следует из "присланной в рукописи обстоятельной статьи по различным аспектам проблемы деления" (подчеркнули авторы). Важно также и то, что если неустойчивость ядра по Френкелю оказывалась обусловленной колебаниями его поверхности, то "та же идея была несколькими месяцами позже развита и в работе Н. Бора и Д. Уилера", — отмечали Я. Смородинский и И. Тамм в 1958 г. в предисловии к [15].

Здесь не место останавливаться на конкретном содержании работы Френкеля, тем более, что оно достаточно известно, а высказанные Френкелем соображения излагаются во всех учебниках, касающихся вопросов физики атомных ядер. Весьма существенно, по нашему представлению, лишь акцентировать тот факт, что созданная Я.И. Френкелем теория деления ядер являлась исторически первой, решающего значения, теорией этого весьма важного процесса (и создана она была точно в год открытия деления, с разрывом всего в несколько месяцев).

§2 И.В. Курчатов хорошо понимал, что для надежного выяснения закономерностей деления необходимо знание сечений деления на нейтронах при разных энергиях, а также достоверные данные о продуктах реакции.

Кроме того, помимо измерения элементарных констант, Курчатов начал подготовку опытов, долженствующих ответить на вопрос: происходит ли размножение нейтронов в различных композициях урана и замедлителя. Для этих опытов был необходим индикатор нейтронов, вызывающих деление урана, во много десятков раз более чувствительный (и не регистрировавший α-частицы), чем обычно применявшиеся. С этой задачей, порученной сотрудникам Курчатова Г.Н. Флерову и К.А. Петржаку, они успешно справились. На созданной установке Флеров и Петржак сделали в начале 1940 г. важное открытие спонтанного деления ядер урана, ставшее новой принципиальной вехой (после открытия деления урана нейтронами) на пути познания процессов деления и овладения атомной энергией [16].

Сообщение об открытом новом явлении — самопроизвольном делении урана — Флеров и Петржак послали в американский журнал "Physical Review". Письмо было опубликовано [17]. Однако никакой реакции на публикацию не было. Более того, после бурного потока статей о результатах исследования деления урана американская печать вдруг замолчала. И только после войны выяснились все обстоятельства, приведшие к засекречиванию работ по урану, проводившихся тогда в Америке. Разумеется, работы "по урану" в СССР, как и в других местах, продолжались и публиковались в отечественной периодике. Это цикл работ В. Хлопина, М. Пасвик-Хлопиной и Н. Волкова; работы А. Полесицкого и К. Петржака, а также Н. Волкова; А. Лейпунского и В. Маслова; А. Полесицкого и М. Орбели; А. Полесицкого и Н. Немеровского; Н. Перфилова, а также К. Петржака; Я. Зельдовича и Ю. Зысина; В. Берестецкого и А. Мигдала; Я. Зельдовича и Ю. Харитона (по механизму деления) и др.

Все перечисленные нами работы (а также и другие отечественных и зарубежных авторов) по физике деления были обобщены на IV (Харьковском) Всесоюзном совещании по физике атомного ядра, состоявшемся в ноябре 1939 г. А через три месяца вся проблема деления тяжелых ядер в целом (ввиду совершенно прозрачной важности проблемы) была обстоятельно рассмотрена в докладе И.В. Курчатова на Сессии Отделения физико-математических наук АН СССР (26-27 февраля 1940 г.), в котором он охарактеризовал существенные аспекты вопроса: от деления ядер под действием нейтронов и спонтанного деления до цепной ядерной реакции деления (по материалам IV Всесоюзного совещания по ядру, а также нейтронного семинара в Ленинграде).

Развернутая дискуссия на IV Всесоюзном совещании, критическое рассмотрение "проблемы урана" в докладе-отчете Курчатова на Сессии Отделения Академии Наук — все это способствовало дальнейшему развертыванию работ по делению, стимулировало новые исследования, углубляло их научный уровень. За один год от IV до V (Московского) совещания (ноябрь 1940) была опубликована большая серия работ по делению и смежным вопросам. Отсылая к библиографии этих работ, данной в монографии [18], здесь

упомянем только работы Я.Б. Зельдовича, Ю.Б. Харитона из цикла по теории цепной ядерной реакции, который будет отмечен ниже.

В результате интенсивных исследований упомянутый год внес ясность во многие вопросы проблемы тяжелых ядер. И особенно значительную роль в этом плане сыграло широкое и открытое обсуждение, которому подвергалась "урановая проблема" в целом на V Всесоюзном совещании по физике атомного ядра в ноябре 1940 г. (Напомним, что в совещании участвовало свыше 200 специалистов). Было заслушано около 50 научных докладов. Это совещание подвело итоговую черту под всей "доцепной" эпохой ядерной физики и открыло путь к осуществлению самоподдерживающейся цепной реакции деления. Вставала заря новой атомной эры.

§3 На V Всесоюзном совещании были сделаны как обзорные доклады, так и оригинальные сообщения по проблеме собственно деления и проблеме цепной реакции деления. Это — деление тяжелых ядер (Курчатов); спонтанный распад урана (Петржак и Флеров); механизм деления тяжелых ядер (Берестецкий и Мигдал); резонансное рассеяние нейтронов в легких и тяжелых ядрах (Ландау); неупругое рассеяние нейтронов тежелыми ядрами (Никитинская и Флеров); изучение химической природы продуктов деления ядер тория (Полесицкий, Немеровский и др.); рассеяние монохроматических нейтронов (Голобородько и Лейпунский) и др. (Обзорные доклады — помимо Курчатова — были сделаны Лейпунским, Харитоном, Флеровым, Хлопиным и др.)

В обзорных работах проанализированы вопросы о вторичных нейтронах, о порогах деления (в частности, ^{238}U и ^{235}U), энергиях возбуждения, сечениях деления, замедлителях (вода и тяжелая вода) и возможностях получения трансуранов — в обзоре А.И. Лейпунского (о трансуранах по работам В.Г. Хлопина с сотрудниками, Л.И. Русинова и Г.Н. Флерова, а также К.А. Петржака и А.Е. Полесицкого). А в докладе-обзоре И.В. Курчатова, в конечном итоге, "указан путь к колоссальному техническому прогрессу, таящемуся в ...открытом явлении деления ядер урана" (М. Бредов). Это мы ниже и проанализируем, разумеется, весьма кратко. Но в начале остановимся на двух фундаментального значения исследованиях — экспериментальном сотрудников Курчатова Л. Русинова и Г. Флерова: "Опыты по делению урана" [19] и развернутом теоретическом — сотрудников Института химической физики АН СССР Я. Зельдовича и Ю. Харитона по исторически первой в научной литературе теории цепной реакции деления [20, 21], а также [22, 23]. На эти два исследования прежде всего и опирался Курчатов.

Итоги работы Русинова и Флерова "Опыты по делению урана" были впервые доложены на нейтронном семинаре ЛФТИ (10.04.1939 г.) и в расширенном изложении на 5 Всесоюзном совещании. Первое, что однозначно было установлено, — это "что при захвате ураном медленных

нейтронов действительно испускаются вторичные быстрые нейтроны", причем "необходимо считать, что в среднем при каждом акте деления урана испускается 2,9 вторичных нейтрона". Учитывая простоту установки и недостаточную точность использованных значений сечений, полученный результат можно считать достаточно хорошим (2,5 ± 0,1 по Калашниковой, Микаэляну и др.). Но что важно, так это экспериментальное установление числа вторичных нейтронов, утвердившее реальность цепной реакции деления. Далее Русинов и Флеров провели исследование вопроса, какой изотоп урана делится при захвате нейтрона (впервые доложено на семинаре в ЛФТИ 16.06.1939 г.). В проведенных опытах было однозначно установлено, что "при захвате резонансных нейтронов образуется радиоактивное ядро $_{92}U^{239}$", так что "основной изотоп урана $_{92}U^{238}$ не расщепляется под действием резонансных нейтронов... (и) не может расщепляться и под действием тепловых нейтронов. Наблюдаемый же на опыте процесс деления урана от тепловых нейтронов следует приписать изотопу $_{92}U^{235}$".

Подытоживая результаты проведенного развернутого экспериментального исследования, Русинов и Флеров констатировали, что "эти экспериментальные данные являются материалом, который необходимо иметь в виду при рассмотрении вопроса о возможности осуществления цепной реакции". Это "рассмотрение" и провел И.В. Курчатов в своем докладе. Однако для этого ему были нужны еще собственно общие теоретические начала фундаментальной теории цепной реакции деления, построенной впервые в мире в работах Ю.Б. Харитона и Я.Б. Зельдовича.

§4 В своей первой работе "К вопросу о цепном распаде основного изотопа урана" [20] Зельдович и Харитон рассмотрели вопрос о возможности цепного распада урана-238 под действием быстрых нейтронов. И, проведя всесторонние вычисления, они однозначно констатировали, что наличие помимо упругого рассеяния еще и эффекта неупругого рассеяния "и в этом случае (чистого урана, а выше ими показано для U_3O_8. — [В.И.]) ведет к мощному обрыву цепей и, по-видимому, к невозможности взрыва".

Во второй работе, "О цепном распаде урана под действием медленных нейтронов" [21], Зельдович и Харитон рассмотрели вопрос о цепной реакции деления изотопа $_{92}U^{235}$ медленными нейтронами. Они твердо устанавливают, что переход от нейтронов с энергией в несколько МэВ до скорости "близкой к тепловой..., в которой они (нейтроны — [В.И.]) вызывают распад (продолжают цепь), расположена область резонансного поглощения нейтронов основным изотопом-238, что не приводит к возникновению новых нейтронов, и является, следовательно, обрывом цепи". А это значит, что для осуществления цепной реакции на медленных нейтронах "необходимо мощное замедление нейтронов, практически осуществимое добавкой значительного количества водорода" [21, с. 29].

Теперь необходимо найти оптимальное соотношение между ураном и водородом, а также вид функции распределения нейтронов с данной начальной энергией по энергиям после одного столкновения с протоном, пригодной для конкретных расчетов: эту программу авторы и выполняют.

Обращаясь после выполненного расчета к практическому вычислению, Зельдович и Харитон в итоге резюмируют, что "ни при каком составе смеси урана с водой невозможны бесконечное разветвление цепей и взрыв урана. Наибольшим наблюдаемым эффектом может быть увеличение интенсивности источника нейтронов за счет нейтронов, получающихся от деления".

Негативный результат для системы "естественный уран — вода", однако, не означает, что цепная реакция на медленных нейтронах вообще невозможна. "Для осуществления условий...необходимо применять тяжелый водород и тяжелую воду или какое-нибудь другое вещество, обеспечивающее достаточно малое сечение захвата... Другая возможность заключается в обогащении урана изотопом-235. Если в качестве разбавителя пользоваться водой, то величина $\nu\theta\varphi$ становится равной единице при увеличении содержания урана-235 в 1,9 раза (от 0,7 до 1,3%)".

Теперь Зельдович и Харитон переходят к вопросу о критических размерах системы, в которой осуществляется цепная реакция деления, и к связанному с этим вопросу о переходе из подкритической к сверхкритической области. Эта проблема проанализирована ими в третьей работе цикла "Кинетика цепного распада урана". Проделав соответствующие вычисления, авторы получают в пределе критический и линейный размер системы и критическую массу, а также всесторонне рассматривают комплексную проблему "кинетики развития цепного развала, являющейся решающей для суждения о тех или иных путях практического энергетического или взрывного использования". В частности, Зельдович и Харитон впервые вводят рассмотрение запаздывающих нейтронов.

Не останавливаясь на других, более частных, вопросах, рассмотренных в цикле работ Зельдовича и Харитона (в частности, подсчет конкретных критических размеров сферы и критической массы окиси урана и тяжелой воды и др.), приводим итоговый вывод, сформулированный авторами, что, "несмотря на всю трудность... намеченных путей, можно ожидать в ближайшее время попыток осуществления процесса." Напомним, что сказано это в начале 1940 г. И, как известно, такая успешная попытка была осуществлена Э. Ферми в 1942 г. в США вдали от бушевавшей в Европе войны на уничтожение СССР.

§5 Первый вопрос, который был проанализирован И.В. Курчатовым в его докладе на V Всесоюзном совещании, — это теоретические представления о механизме деления и дополнительные данные по нему, полученные за истекшие до Совещания месяцы 1940 г. При этом он отметил, что "ряд количественных соотношений, которые вытекали из расчетов Бора и Уилера...

в настоящее время подвергаются сомнению". И вызвано это появлением работы В. Берестецкого и А. Мигдала "О механизме деления ядер". Следующий вопрос, рассмотренный Курчатовым, был вопрос об энергии нейтронов, вызывающих деление ^{238}U и ^{232}Th (по Петржаку и Флерову). Далее он перешел к анализу работ по изучению энергии и природы осколков и по массовым числам осколков (в соответствии с таблицей, составленной в ЛФТИ И.П. Селиновым).

Во второй части доклада И.В. Курчатов обстоятельно рассмотрел вопрос о цепной реакции деления. И, несмотря на неполноту имеющихся в то время данных, Курчатов, в принципе, правильно устанавливает главнейшие моменты и основные звенья этого сложного и гипотетического тогда процесса использования атомной энергии и анализирует пути к практическому осуществлению цепной реакции в тех или иных системах. При этом он подробно анализирует процесс, обусловленный "поглощением медленных нейтронов...ураном, приводящим к образованию трансуранового радиоактивного изотопа, но не вызывающим деление". И возможностью деления изотопа-235 в том энергетическом участке зависимости эффективного сечения деления, где это сечение для ^{235}U превышает значение сечения для ^{238}U. При этом Курчатов констатирует, что "только 1940 г., когда были произведены опыты на разделенных изотопах, принес окончательную уверенность в правильности предположения (в частности, Н. Бора — [В.И.]) о распределении отдельных участков кривой между разными изотопами, а вместе с ней и принципиальное решение задачи об использовании внутриядерной энергии в процессе цепного распада урана".

Но для этого, конечно, было необходимо решить еще обширный комплекс теоретических и практических вопросов, преодолеть ряд трудностей, приложить немало усилий. Так, "практическое решение связано... с изменением в два раза содержания легкого изотопа в больших массах урана. Однако, по Курчатову, практически реально решение проблемы путем обогащения смеси легким изотопом ^{235}U с использованием обычной воды в качестве замедлителя. Реально для него и "осуществление цепного распада ^{235}U в необогащенной системе "уран — тяжелый водород". Но Курчатов не замыкается рамками систем с водой или тяжелой водой. Он пишет, в частности, и об углероде ^{12}C, т.е. графите, хотя "вопрос о пригодности... ^{12}C в качестве замедляющих ядер еще не выяснен до конца".

Курчатов анализирует также возможность реализации цепной ядерной реакции на быстрых нейтронах в чистом уране. В этом случае, — отмечает он, — основной причиной обрыва цепи является потеря энергии при неупругом рассеянии. Но благодаря работе Никитинской и Флерова, "значение эффективных сечений неупругого рассеяния нейтронов теперь нам известно лучше, чем в 1939 г." и, значит, "мы можем сказать, какова величина, характеризующая возможность возникновения цепной реакции". Так что, по словам академика А.П. Александрова, Курчатов, опираясь на

таблицу значений эффективных сечений деления и неупругого рассеяния, своим анализом предопределил (накануне Отечественной войны), что на чистом уране-235 цепная реакция должна происходить в системе без замедлителя.

Однако, подытоживая, надо однозначно подчеркнуть, по Курчатову, "что, хотя принципиально вопрос об осуществлении цепного ядерного распада и решен в положительном смысле, однако на пути практической реализации в исследованных сейчас системах возникают громаднейшие трудности... Быть может, ближайшие годы принесут нам другие пути решения задачи, но если этого не случится, то только новые, очень эффективные методы разделения изотопов урана или водорода обеспечат осуществление цепной ядерной реакции". (Однако, как сказал Курчатов, "цепь реальна и жизненна".) Как известно, прогноз Курчатова оправдался по обоим направлениям: уран-графитовые реакторы с наработкой плутония и термодиффузионный (а затем сепараторный) метод стали тем "эффективным методом разделения изотопов", который предвосхитил Курчатов. Однако, безусловно, необходимо оговориться, что если Курчатову, опиравшемуся на работы прежде всего отечественных авторов (публикация работ на Западе была остановлена в 1939 г.), была ясна проблема неупругого рассеяния нейтронов ураном и резонансный их захват в области средних энергий ^{238}U с образованием β-радиоактивного изотопа U^{239} с полупериодом распада 23 минуты, трансформирующегося в элемент с порядковым номером 93, и хоть и наметилась также возможность посредством β^--распада синтеза 94-го элемента, поскольку в опытах нащупывалась радиоактивность с периодом полураспада порядка 60 часов, что близко к действительному значению, однако это были, несомненно, предварительные результаты.

Итак, подытоживая, можно с полным правом сказать, что советские ученые накануне Отечественной войны стояли на пороге осуществления управляемой цепной реакции деления. Более того, по свидетельству К.А. Петржака, "если бы не война, не прекращенные в связи с нею исследования, ни в чем бы мы не отстали от США, а, вполне вероятно, имели бы цепную реакцию и раньше 1942 г. Ведь уже в 1939 г. мы в Ленинграде обсуждали все то, что Э. Ферми делал в 1942 г. в США". О том же свидетельствует М. Рузе: "Если бы не было гитлеровского нашествия, первые атомные реакторы были бы построены Жолио во Франции и Курчатовым и его сотрудниками в СССР, а не Энрико Ферми в Чикаго в 1942 году" [24].

§6 В заключение несколько замечаний по реакции синтеза легких элементов. Как известно, Аткинс и Хоутерманс (Геттинген) еще в начале 30-х годов высказали гипотетическое предположение о термоядерном источнике энергии Солнца. В 1938 — 1939 гг. Бете и другие предположили в качестве механизма процесса экзоэнергетической реакции ядерного синтеза — сгорания водорода

в гелий — два цикла реакций: протон-протонную цепочку (водородный цикл) и углеродно-азотную цепочку (углеродный цикл). Так был, в конечном итоге, открыт процесс синтеза (термоядерного) легких элементов. В отличие от открытия реакции деления, сделанного в физической лаборатории, ядерная реакция синтеза "открыта" как протекающая в космосе. Разумеется реализующаяся в цепной самоподдерживающейся реакции превращения легкого элемента в более тяжелый (с выделением огромной энергии). Наличие превосходства реакций термоядерного синтеза над реакциями деления значительно большим (в пять раз) энерговыделением на 1 г вещества уже в 40-х годах стало привлекать внимание исследователей. Конечно, как и деление, реакции синтеза возможны как управляемые цепные реакции и как неуправляемые (взрывные). Так что в условиях противостояния двух "лагерей" пристальное внимание — в обстановке начинающейся "холодной войны" — привлекли последние. По-видимому, это имело место как в США, так и в СССР. Однако первыми "термоядерное наступление" (водородную бомбу) стали муссировать США.

В Советском Союзе, благодаря наличию высококвалифицированных кадров "атомщиков", в короткий срок сумевших решить "урановую проблему" и тем самым снять монополию США на атомную бомбу, вкупе с высокоразвитой промышленностью, располагающей высоким технологическим уровнем и научно-техническими и инженерными кадрами, также был взят прицел на водородную бомбу. Кроме того, научная сторона проблемы подкреплялась и наличием развитой школы физиков-космиков, активно работающей в области ядерно-физических процессов в космосе, идущих с участием как нуклонов, так и более сложных ядер или элементарных частиц.

Первоначально, по-видимому, предполагалось, что термоядерные реакторы будут служить для получения трития и делящихся элементов, ибо скорость реакции d + t в 100 раз выше скорости реакции d + d, но для нее необходим радиоактивный тритий ($T_{1/2}$ = 12,6 лет). Однако дальнейшие разработки (в частности, Тамма, Харитона, Гинзбурга, Сахарова и ряда других ученых) известным образом трансформировали задачу решения проблемы термоядерного взрыва — привлечена реакция ^{6}Li + n — и последующего образования нейтрона с соответствующей цепочкой усиления реакций взаимодействием с делящимся материалом (обычно природный уран: E_n = 14 МэВ).

В нашу задачу не входит рассмотрение этого специального вопроса. Нам хотелось бы в заключение отметить только то, что будущее человечества — за управляемыми реакциями синтеза с магнитным, а также инерциальным удержанием плазмы, и в рамках каталитических мезонных процессов. Небесный огонь будет, в конечном итоге, дан людям Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Д.Д. Иваненко.** ДАН, 1933, т.2, с.50.
2. **И.В. Курчатов.** Расщепление атомного ядра. — М.-Л.: ОНТИ, 1935.
3. **N. Bohr.** Science, 1937, v.86, p.161.
4. **Я.И. Френкель.** Изв. АН СССР, сер.физ., 1938, т.1-2, с.233.
5. **H. Bethe, M. Rose.** Phys. Rev., 1937, v.52, p.12.
6. **С.Н. Вернов, Л.Т. Барадзей, Ю.А. Смородин.** ДАН, 1948, т.63, с.233.
7. **O. Frish.** Nature, 1939, v.143, p.276.
8. **F. Joliot-Curie.** Comptes Rendus, 1939, v.208, p.341.
9. **Н.А. Перфилов.** ДАН, 1939, т.23, с.893.
10. **А. Жданов, Л. Мысовский.** ДАН, 1939, т.23, с.136; ibid., т.25, с.341.
11. **Я.И. Френкель.** ЖЭТФ, 1939, т.9, с.641.
12. **Ya.I. Frenkel.** Journal of Physics, USSR, 1939, v.1, p.125.
13. **E. Hill.** Phys. Rev., 1939, v.55, p.987.
14. **N. Bohr, D. Wheeler.** Phys. Rev., 1939, v.56, p.426.
15. **Я.И. Френкель.** Собрание избранных трудов. — М.-Л.: 1958, т.2, с.458.
16. **Г.Н. Флеров, К.А. Петржак.** ЖЭТФ, 1940, т.10, с.1013.
17. **G. Flerov, K. Petrjak.** Phys. Rev., 1940, v.58, p.89.
18. **В.В. Игонин.** Атом в СССР. Развитие советской ядерной физики. — Саратов, изд-во СГУ, 1975.
19. **Л. Русинов, Г. Флеров.** Изв. АН СССР, сер. физ., 1940, т.4, с.310.
20. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон.** ЖЭТФ, 1939, т.9, с.1425.
21. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон.** ЖЭТФ, 1940, т.10, с.29.
22. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон.** УФН, 1940, т.23, с.329.
23. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон.** УФН, 1941, т.25, с.381.
24. **М. Рузе.** Роберт Оппенгеймер и атомная бомба. — М.: Атомиздат, 1963, с.110.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА В РАДИЕВОМ ИНСТИТУТЕ: ОТ РАДИОАКТИВНОСТИ К НАЧАЛАМ ФИЗИКИ ДЕЛЕНИЯ И ПЕРВЫМ ИСПЫТАНИЯМ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

К.А. Петржак, А.А. Римский-Корсаков, В.П. Эйсмонт

Радиевый институт должен быть сейчас организован так, чтобы он мог направлять работу на овладение атомной энергией — самым могучим источником силы, к которому подошло человечество в своей истории.

В.И. Вернадский, 1922 г.

Ядерная физика возникла как закономерный этап развития учения о радиоактивности атомных ядер, поэтому Радиевый институт, созданный почти 75 лет назад специально для изучения явления радиоактивности, стоял у колыбели отечественных исследований по ядру. Основоположник и первый директор Радиевого института академик В.И. Вернадский в одном из своих выступлений сказал: "Физика ядра, которая вытекала из явлений радиоактивности, не может не являться одной из основных задач Радиевого института" [1].

1. ПЕРВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ РАДИЙ И ФИЗИКА (1922 г.)

Первой физической задачей стало обеспечение всего комплекса работ по радию (поиска руды, выделение из нее радия и изучение его свойств) специалистами-радиологами и приборами для измерения радиоактивности. Она решалась в Физическом отделе института, который с самого начала возглавил профессор Л.В. Мысовский. Еще в 1914 г., заканчивая физико-математический факультет Петербургского университета, Мысовский представил опытное исследование "По поводу электрического счета α-частиц" и с 1918 г. работал под руководством одного из первых русских радиологов, ученика М. Кюри — Л.С. Коловрат-Червинского. При институте был создан

практикум по радиоактивности, который за время его существования прошли около 300 человек. В 1931 г. Мысовский организовал и возглавил в Ленинградском университете новую кафедру радиологии, наиболее способных выпускников которой он приглашает в аспирантуру Радиевого института. При деятельном участии Мысовского в институте создавались и оснащались оборудованием механическая, столярная и стеклодувная мастерские. В них изготавливались приборы, необходимые для организации контроля производства в зарождавшейся радиевой промышленности и для изучения радиоактивности — электроскопы, электрометры и различные счетчики. В середине 20-х годов в институте осваиваются и развиваются основные в то время методы экспериментального изучения заряженных частиц — метод сцинтилляций и метод камеры Вильсона. В 1927 г. Л.В. Мысовский предлагает использовать для регистрации α-частиц (и в дальнейшем использует как для α-частиц, так и для осколков деления) фотографические пластины с толстым слоем светочувствительной эмульсии. Таким образом, уже к началу 30-х годов Радиевый институт располагал широким арсеналом методических средств изучения и измерения радиоактивных излучений.

2. РАДОН-БЕРИЛЛИЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ И НАЧАЛА НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ В СССР (1932 г.)

В 20-е годы Мысовским была создана оригинальная эманационная установка для добычи радона ("эманации радия") из раствора радия. Эти препараты радона находили широкое применение в медицинской практике, а с открытием нейтрона ампулы с эманацией и порошком бериллия как источники нейтронов по реакции ^{9}Be(α, n)^{12}C (в которой нейтроны и были открыты) приобрели неоценимое значение. На этих радон-бериллиевых источниках и были выполнены первые отечественные работы по взаимодействию нейтронов с ядрами. Опыты с нейтронами начались практически сразу же после появления сообщения об обнаружении Ферми наведенной нейтронами радиоактивности. Примерно за год (с середины 1934 г. до середины 1935 г.) сотрудниками Физико-технического и Радиевого институтов были описаны результаты десяти совместных исследований (в двух участвовал также ХФТИ, тогда УФТИ), касавшихся как наведенной радиоактивности, так и вопросов рассеяния и поглощения нейтронов ядрами. О широте затрагиваемых проблем свидетельствуют сами названия работ, например: "Эффект Ферми в фосфоре", "Энергия нейтронов и эффект Ферми", "Рассеяние нейтронов водой и свинцом", "Поглощение медленных нейтронов". Описанными в этих работах экспериментами И.В. Курчатова и Л.В. Мысовского и их сотрудников было положено начало нейтронной физике как одной из научных основ атомной энергетики в СССР.

В 1935 г. было открыто новое явление — ядерная изомерия у искусственно создаваемых радиоактивных ядер. Опыты начались в Радиевом институте.

В.Г. Хлопин вспоминал: "Я помню, что однажды ночью я застал Льва Владимировича за изучением в камере Вильсона излучений искусственно радиоактивного брома; он поделился со мной удивительным наблюдением, что старый препарат радиоброма, который должен был бы уже практически распасться нацело, обнаруживает заметную активность, за изменением которой он предполагал проследить. Как мы теперь знаем, это его наблюдение было совершенно правильно и привело в дальнейшем к установлению наличия третьего, более долгоживущего радиоактивного изотопа брома". Однако для этих и других нейтронных исследований нужны были мощные потоки нейтронов, которые мог дать только циклотрон.

3. ПЕРВЫЙ В ЕВРОПЕ ЦИКЛОТРОН (1932—1937 гг.)

Циклотрон был одним из начал "машинного века" в ядерной физике, принесшим физикам заряженные частицы значительно больших энергий и интенсивностей, чем энергии и интенсивности частиц радиоактивного распада. Впрочем, циклотроном эту машину назвали позже, "отцы" писали о ней, как об аппарате или методе "получения протонов высоких скоростей без использования высоких потенциалов". Другим началом был метод прямого ускорения протонов с помощью требуемой разности потенциалов — он и был первым, позволившим получить искусственно ускоренные частицы. С 1919 г., когда Резерфорд, бомбардируя азот α-частицами естественного происхождения, "расщепил атом", обладание ускорителем заряженных частиц (все больших энергий, масс и интенсивностей) стало (и, по-видимому, навечно) голубой мечтой физиков-ядерщиков. Среди пионеров искусственного ускорения заряженных частиц был и профессор Л.В. Мысовский. Уже в 1922 г. в "Докладах Российской Академии Наук" появляется статья Л.В. Мысовского и В.Н. Рукавишникова "Ускорение положительных и отрицательных ионов путем переменного тока высокой частоты" [2].

Однако первые десять лет со дня открытия расщепления ядер не принесли заметных успехов в этой области. Положение изменилось в 1928 г. Работы по созданию ускорителей были стимулированы выпускником Ленинградского университета, вскоре ставшим сотрудником Радиевого института, Г.А. Гамовым. Гамов применил принцип волновой механики к α-распаду и объяснил α-распад эффектом проницаемости потенциального барьера ядра. Он же рассчитал вероятность проникновения заряженной частицы в ядро за счет обратного туннельного эффекта. Вот как описывает события один из учеников Резерфорда Т. Аллитон: "Как раз в то время, зимой 1928-29 гг., в Кембридж приехал русский ученый Гамов и выступил с лекцией о новых идеях в квантовой механике — о существовании энергетического барьера вокруг ядра. Помню, как после лекции вместе с Уолтоном мы спустились вниз по лестнице в нашу лабораторию и подошли к Кокрофту, который работал в той же комнате. Кокрофт как раз подставлял в формулу Гамова

цифры, которые можно было получить в то время для ионного тока — это 1 мкА протонов, ускоренных до энергии 0,5 МэВ, — чтобы выяснить вероятность проникновения протонов через энергетический барьер ядра бора. Даже после учета возможных потерь эти цифры казались вполне приемлемыми...". Как известно, через три года Кокрофт и Уолтон добились успеха, расщепив ядро лития с помощью протонов. В том же 1932 г. искусственное расщепление лития "быстродвижущимися" протонами было осуществлено Э. Лоуренсом и на циклотроне.

На основе анализа всех опубликованных материалов и результатов собственного опыта Л.В. Мысовский остановился на "приборе Лоуренса", как тогда называли циклотрон. Этот выбор был сделан им в начале 1932 г. Намерение Мысовского создать циклотрон в институте поддерживалось Гамовым. Ученый совет института принял решение о строительстве циклотрона, и из резервного фонда Совнаркома на эти цели институту было выделено 200 000 рублей. Строительство ускорителя стало предметом постоянного внимания и больших забот руководителей института и, особенно, В.Г. Хлопина. В марте 1937 г. циклотрон был пущен, а в июле получен пучок протонов с энергией 3,2 МэВ. Это был крупный успех физиков института. Как писали центральные и местные газеты тех лет: "Теперь арсенал советской науки пополнился новым мощным орудием для покорения природы человеком".

Большую роль в освоении циклотрона сыграл И.В. Курчатов, в августе 1937 г. ставший заведующим циклотронной лабораторией. С апреля 1939 г., в связи с болезнью Мысовского, Курчатов был назначен заведующим Физического отдела, в который входила лаборатория, и оставался на этом посту до октября 1940 г. (Эти должности он занимал по совместительству с работой в Физико-техническом институте). Но еще до этого он был консультантом института. И хотя этот статус "постоянного консультанта" по документам он имел только с ноября 1935 г., фактически Курчатов был тесно связан с Мысовским и другими физиками Радиевого института с самого начала своих занятий атомным ядром — с конца 1932 г. Примечательно, что в приказе по Ленинградскому физико-техническому институту, датированном 15 декабря 1932 г., его директор академик А.Ф. Иоффе, "образуя особую группу по ядру в составе: академик А.Ф. Иоффе — начальник группы, И.В. Курчатов — заместитель начальника группы..." (в состав входили также Д.В. Скобельцин, И.П. Селинов, Д.Д. Иваненко и другие — всего 10 человек), следующим пунктом ставит: "Г.А. Гамова и Л.В. Мысовского числить консультантами группы".

Под руководством В.Г. Хлопина и И.В. Курчатова работа по совершенствованию циклотрона велась постоянно — с момента запуска циклотрона и до начала войны. Работы института по циклотрону составляли существенную часть работ, проводившихся в этой области в Академии наук СССР. Циклотрон стал большой практической школой для многих выдающихся

физиков страны, возглавивших впоследствии строительство других более мощных отечественных ускорителей.

И.В. Курчатов и А.И. Алиханов (так же, как Курчатов, зачисленный в Радиевый институт постоянным консультантом) использовали опыт, приобретенный в Радиевом институте, при строительстве циклотрона в Физико-техническом институте. Под руководством академика А.И. Алиханова (и В.В. Владимирского) в ИТЭФ в 1961 г. был построен протонный синхротрон на 7 ГэВ. Член-корреспондент АН СССР М.Г. Мещеряков, ставший в октябре 1940 г. после ухода И.В. Курчатова заведующим циклотронной лабораторией, впоследствии руководил строительством первого в стране синхроциклотрона на 680 МэВ, вошедшего в строй в 1949 г. в ОИЯИ (Дубна). Член-корреспондент АН СССР В.П. Джелепов, работавший в циклотронной лаборатории, являлся директором Лаборатории ядерных проблем, в которую входил синхроциклотрон. Еще один сотрудник циклотронной лаборатории, профессор Д.Г. Алхазов, возглавлял пуск циклотрона Физико-технического института после войны и сооружение синхроциклотрона на энергию 1 ГэВ в Ленинградском институте ядерной физики.

Но циклотрон был, конечно, не только техническим полигоном. Он был важнейшим прибором физических и ряда химических исследований довоенных лет.

4. НАЧАЛА ФИЗИКИ ДЕЛЕНИЯ В СССР (1939 г.)

Циклотрон был задуман для осуществления "трансмутации" ядер легкими заряженными частицами. Однако с открытием нейтрона и эффекта вызываемой им искусственной радиоактивности стало ясно, что нейтрон, не имеющий заряда, является значительно более эффективным средством воздействия на ядро. К тому же вскоре выяснилось, что особенности взаимодействия нейтронов с ядрами интересны и важны сами по себе. Поэтому циклотроны в первые свои годы очень часто и, пожалуй, в основном использовались как источники нейтронов. Не был исключением и циклотрон нашего института.

Физики ждали мощного источника нейтронов для продолжения опытов по искусственной изомерии атомных ядер. Сотрудниками Радиевого института Д.Г. Алхазовым, И.И. Гуревичем, И.В. Курчатовым и В.Н. Рукавишниковым, было показано, что метастабильный уровень ядра гадолиния, возникающий при захвате нейтрона, разряжается путем внутренней конверсии. Сотрудники И.В. Курчатова по Физико-техническому институту продолжали изучать изомерию в ядре брома, в котором она и была открыта. Необходимые для их опытов "радиоактивные препараты" получали путем облучения бромистого этила замедленными нейтронами циклотрона. Циклотрон как источник нейтронов послужил для определения сечения захвата быстрых нейтронов для ряда элементов Периодической системы. В ряду от натрия до висмута были измерены сечения захвата для 27 элементов. Эти иссле-

дования были выполнены М.Г. Мещеряковым, бывшим в 1936-1939 гг. аспирантом института, и оформлены им в виде кандидатской диссертации. Таким образом, нейтронная физика, начало которой было положено в Радиевом институте, с пуском циклотрона получила дальнейшее развитие. Кроме того, искусственными радиоактивными элементами, произведенными на циклотроне, обеспечивались нужды различных исследований как в самом институте, так и в многочисленных других научных учреждениях.

Вероятно, одни только упомянутые работы окупили бы все усилия, затраченные на строительство ускорителя. Но при всей их значимости они не были главными. В начале 1939 г., когда циклотрон по-настоящему стал на службу экспериментальным исследованиям, в фокус внимания попало только что открытое деление ядер. Наши физики и химики, уже в то время обладавшие необходимыми знаниями и опытом, разнообразными методиками исследований естественной и искусственной радиоактивности, в том числе радиоактивности, вызываемой нейтронами (радон-бериллиевых источников), мгновенно включились в изучение этого нового типа ядерных превращений.

Первая отечественная работа по делению ядер, принадлежащая перу Л.В. Мысовского и А.П. Жданова и называвшаяся "Наблюдение ядер отдачи при бомбардировке нейтронами", была представлена В.Г. Хлопиным к опубликованию в "Докладах АН СССР" уже 7 марта 1939 г. [3]. В ней описывались первые опыты по изучению ядер отдачи (как тогда именовались осколки деления) при расщеплении атомов урана с помощью толстослойных фотопластинок: "На пластинках же, облученных нейтронами в присутствии урановой краски, наблюдались следы, которые по толщине и густоте расположения зерен превосходили следы α-частиц по крайней мере в два —три раза". Эти опыты были сделаны при помощи радон-бериллиевого источника нейтронов. "Т.к. такой источник давал значительный фон γ-лучей, который на пластинке представлялся в виде большого количества черных точек, то мы повторили эти опыты, воспользовавшись нейтронами, получаемыми на циклотроне путем реакции d+d– n+^{3}He. Таким образом удалось почти совершенно избавиться от фона", — сообщали авторы предыдущей работы и М.Ю. Мысовская в статье "Следы ядер отдачи при расщеплении урана нейтронами" [4], представленной тремя неделями позже. Это была первая публикация физических результатов, полученных на циклотроне, и не удивительно, что относилась она к делению атомных ядер.

Этой теме и исторически связанной с ней "теме трансуранов" были посвящены и работы на циклотроне группы В.Г. Хлопина. Самая ранняя из статей называлась "Деление ядер урана под действием нейтронов и вопрос о существовании трансуранов" [5]. Ее авторами были В.Г. Хлопин, М.А. Пасвик-Хлопина и Н.Ф. Волков, и направлена она в печать была в начале марта 1939 г. Однако эта большая и интересная тема, история которой полна увлекательными событиями мнимых находок, опровержений и подлинных открытий, выходит за пределы настоящего доклада. Отметим

лишь, что с использованием циклотрона института зарождалась в нашей стране и химия деления тяжелых ядер.

В ряду физических работ, сделанных на циклотроне, кроме уже упоминавшихся экспериментов Мысовского и Жданова, следует назвать остроумный опыт Н.А. Перфилова — по измерению эффективного заряда продуктов деления. В этом опыте ускоритель использовался "на двести процентов". Во-первых, как поставщик нейтронов для расщепления ядер, во-вторых, как поставщик магнитного поля для отклонения продуктов расщепления. В статье "Отношение mv/E для продуктов деления урана" [6], представленной 3 мая 1940 г., Н.А. Перфилов писал: "Наличие большого эффективного заряда осколков дает возможность оценить его прямым методом по отклонению частиц в магнитном поле в эвакуированном пространстве. Расчет показывает, что для частицы массы порядка 100 единиц ат. веса и энергии около 100 МэВ, имеющей заряд E = 25 e, мы получим радиус кривизны r, только приблизительно вдвое больший, чем для α-частицы от полония. Это дает возможность определить Hr для ядер отдачи, получающихся при делении урана, и затем, зная их энергию, определить заряд".

Для этой цели был изготовлен специальный прибор. В верхней его части помещалась толстослойная фотопластинка, не чувствительная к протонам, но чувствительная к α-частицам и осколкам деления. В нижней части, отделенной от источника двумя перекрывающимися щелями, мог располагаться источник α-частиц или мишень из делящегося элемента. Прибор откачивался и помещался в магнитное поле. По распределению частиц на пластинке и известным размерам прибора можно было судить об их магнитной жесткости — величине Hr, которая, в свою очередь, равна mv/E для изучаемой частицы. Вначале прибор был испытан на α-частицах полония, а затем применен для осколков.

В статье читаем: "При определении Hr для урановых осколков в прибор помещался препарат U_3O_8, осажденный тонким слоем (1,5 мг/см^2) на латунной тарелочке. Затем при давлении 0,1 мм рт. ст. прибор помещался между полюсами электромагнита циклотрона РИАН, где и происходило облучение урана нейтронами, замедленными в парафине, от реакции Li+D. Магнитное поле соответствовало условиям получения нейтронного пучка и равнялось в месте помещения прибора $8{,}5 \cdot 10^3$ эрстед. Оно оставалось постоянным в пределах 1% в течение всего времени облучения. После облучения продолжительностью 30 часов пластинки проявлялись и тщательно просматривались через микроскоп со стереоскопической насадкой. В результате просмотра было найдено семь следов осколков, расположенных на пластинке в пределах разброса, обусловленного шириной щели (возможный разброс около 4 мм)... При определении по этим следам средней величины отклонения получено 6,5 мм, и затем по геометрическим данным прибора для радиуса кривизны было найдено значение mv/E = $6{,}6 \cdot 10^5$ эл.-м.ед. с возможной максимальной ошибкой 20%... Если принять значение энергии

для одного из двух ядер отдачи 91 МэВ и массу 90 или 57 МэВ и массу 144 соответственно и, определив отсюда mv для осколков, вычислить эффективный заряд, то получим 20 е. Полученное значение заряда является, вероятно, наиболее часто получающимся при делении, так как на вильсоновских фотографиях были замечены частицы с различной ионизирующей способностью, соответствующей одному процессу деления".

Это было первое прямое определение эффективного заряда осколков деления. В отдельных физических, как и химических, исследованиях попрежнему использовались радон-бериллиевые источники нейтронов. К ним относятся работы Н.А. Перфилова "Наблюдение следов ядер отдачи, получающихся при делении урана под действием нейтронов, в камере Вильсона с пониженным давлением" [7] и К.А. Петржака "Пробеги и энергии осколков при делении урана быстрыми нейтронами" [8]. Они и работа В.Г. Хлопина "Химическая природа продуктов деления тяжелых ядер" [9] были доложены на совещании по физике атомного ядра, состоявшемся в Харькове в ноябре 1939 г., — четвертом отечественном совещании "по ядру" и первом из них, на котором рассматривались вопросы физики деления. Названные доклады составили 3 из 4 экспериментальных работ по делению ядер, представленных на совещание. Еще одна — принадлежала Л.И. Русинову и Г.Н. Флерову, сотрудникам Физико-технического института.

Уже это краткое рассмотрение, немного большее, чем простое перечисление, довоенных работ по делению ядер, выполненных сотрудниками института (или с их участием), дает основание считать, что в Радиевом институте были заложены основы экспериментального изучения физики деления ядер в нашей стране.

5. ОТКРЫТИЕ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ (1940 г.)

В начале 1940 г. в "Журнал экспериментальной и теоретической физики" была направлена статья К.А. Петржака и Г.Н. Флерова "Спонтанное деление урана" [10], в которой сообщалось об открытии нового явления — спонтанного деления тяжелых ядер. В аннотации к статье это было выражено словами: "Разработана особо чувствительная методика для исследования явления деления урана по ионизации осколков. Установлено деление ядер урана в отсутствие нейтронного источника. Высказано предположение, что наблюдаемый эффект объясняется делением урана с периодом полураспада 10^{16}-10^{17} лет для изотопа U_{92}^{238}".

Впервые на возможность спонтанного деления урана было указано Н. Бором и Дж. Уиллером. Расчет был произведен для основного изотопа ^{238}U по формуле проникновения частицы сквозь потенциальный барьер и дал величину периода полураспада порядка 10^{22} лет. У. Либби пытался обнаружить этот эффект по регистрации медленных нейтронов, которые могли испускаться так же, как в случае деления урана под действием

нейтронов, но на основании отрицательных результатов установил лишь нижнюю границу для периода полураспада (Т > 10^{14} лет).

К.А. Петржак и Г.Н. Флеров регистрировали непосредственно осколки деления, используя для этого ионизационную камеру с пластинами, покрытыми слоем окиси урана, соединенную с линейным усилителем. Усилитель был построен таким образом, чтобы α-частицы, вылетающие из урана, не регистрировались системой. Импульсы же от осколков, намного превышающие по величине импульсы от α-частиц, отпирали выходной тиратрон и считывались механическим реле. Чтобы повысить чувствительность метода, необходимо было увеличить рабочую поверхность окиси урана. Для этого была специально сконструирована ионизационная камера в виде многослойного плоского конденсатора с общей площадью 15 пластин в 1000 $см^2$. Пластины, расположенные друг от друга на расстоянии 3 мм, были покрыты слоем окиси урана толщиной 10-20 $мг/см^2$. Таким образом, общий вес урана в камере составил около 15 г.

Такая камера давала около 6 импульсов ("отбросов" счетчика) в час. В дальнейшем была построена еще большая камера с общей поверхностью 15 пластин в 6000 $см^2$. Максимальное число спонтанных "отбросов" выросло до 25-30 в час. Происхождение этих импульсов, кроме спонтанного деления, можно было объяснить: 1) приемом внешних колебаний усилителя, 2) наложением импульсов от отдельных α-частиц, 3) наличием областей газового усиления в отдельных областях ионизационной камеры, 4) случайными разрядами на поверхности окиси урана. Специальные опыты показали, что ни одна из вышеперечисленных причин не может служить для объяснения эффекта. Это дало авторам возможность заявить: "Мы склонны думать, что наблюдаемый эффект следует приписать осколкам, получающимся в результате спонтанного деления урана". Одному из авторов настоящего доклада (К.А. Петржаку) и сегодня доставляет особое удовольствие еще раз воспроизвести слова, которыми заканчивалась статья: "Мы приносим искреннюю благодарность за руководство работой проф. И.В. Курчатову, наметившему все основные контрольные эксперименты и принимавшему самое непосредственное участие в обсуждении результатов исследований". Опыты были начаты в стенах Радиевого института, затем перенесены в Физико-технический и заканчивались на станции "Динамо" Московского метрополитена (на глубине 50 м).

Открытие спонтанного деления ядер способствовало дальнейшему развитию исследований и применению процесса деления, дав в руки экспериментаторов и практиков новый объект, новые возможности изучения, своего рода ядерные стандарты, например спектр нейтронов деления ^{252}Cf. Оно создало также основу для понимания принципиального ограничения элементного состава (со стороны тяжелых ядер) окружающего нас мира.

6. ЦИКЛОТРОН И ПЕРВЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ КОЛИЧЕСТВА ПЛУТОНИЯ (1945 г.)

В предвоенные годы циклотрон института оставался основным прибором, на котором велись исследования по физике и химии деления ядер. Вместе с тем В.Г. Хлопин с группой сотрудников продолжает упорные поиски трансуранов и впервые еще в 1939 г. получил указания на образование заурановых элементов в реакции радиационного захвата нейтронов ураном и последующих β-распадов. Циклотрон развивался и работал, работал и развивался. Отчет института за первое полугодие 1941 г. по проблемам физики атомного ядра начинался с работы циклотронной лаборатории. В нем сообщалось, что лаборатория занимается освоением "разгонной камеры" диаметром 0,8 м, построенной в предыдущем году. В результате были получены пучки дейтронов с энергией до 5 МэВ при токе на внутреннем пробнике до 40 мкА. Освоение большой разгонной камеры первого советского циклотрона рассматривалось как наибольший успех в работе института. С этой камерой при указанных параметрах пучка циклотрон предполагали пустить в дальнейшую эксплуатацию. Кроме того, в 1941 г. была спроектирована и на 3/4 изготовлена еще большая камера — с диаметром крышки 100 см и разгонным радиусом 40 см. Мощность циклотрона, таким образом, возрастала, и еще перед войной на нем начали проводиться длительные облучения больших масс урана с целью получения трансурановых элементов [11].

Война прервала эти работы. С эвакуацией института в Казань циклотрон "был законсервирован — обит досками и обложен мешками с песком". Трудности военных лет, безусловно, сказались на темпах исследований в институте, но полностью не прервали их. В частности, проводились работы по изучению механизма деления ядер, возможности осуществления цепной реакции в смеси естественного урана и различных замедлителей нейтронов, методов разделения изотопов, намеченные в программе специальной "Урановой комиссии", созданной при Академии Наук СССР под председательством В.Г. Хлопина еще в 1940 г. Под общим руководством члена-корреспондента АН СССР П.И. Лукирского, ставшего заведующим физического отдела, эти работы выполнялись физиками И.И. Гуревичем (в ряде случаев совместно с И.Я. Померанчуком и Я.Б. Зельдовичем), К.А. Петржаком, М.Л. Орбели, М.Г. Мещеряковым, Н.С. Ансуровой.

Во второй половине 1944 г. группа сотрудников института во главе с М.Г. Мещеряковым возвратилась в Ленинград для восстановления циклотрона. "Вернувшись в Ленинград в январе 1945 г., Хлопин сразу же окунулся в эксперименты на циклотроне, в ходе которых производились непрерывные, длившиеся месяцами облучения массивных урановых блоков с целью накопления в них плутония" [11]. Хлопину с сотрудниками, в том числе физиками К.А. Петржаком и М.И. Якуниным, удалось получить первые импульсные (около 200 импульсов в минуту) количества плутония и в дальнейшем приступить к разработке крупномасштабной технологии выде-

ления плутония из облученного урана, порученной Радиевому институту ГКО в 1943 г.

7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ, КОНВЕРТОРЫ И РАДИОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КПД ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА (1948 г.)

В самом начале 50-х годов в институте начал строиться специальный нейтронный генератор — "нейтронная трубка" — ускоритель прямого действия для ускорения дейтронов до энергии 170 кэВ и получения с их помощью нейтронов с энергией 14 МэВ по реакции $T(d, n)^4He$. Все основные элементы генератора — высокочастотный источник атомных ионов дейтерия, в/ч-генератор для этого источника, дистанционная система управления напуском газа в источник и режимом его работы, источник высокого напряжения на 170 кВ и разделительный трансформатор для питания в/ч-источника, магнитный анализатор для тока ионов, камера для размещения и охлаждения тритиевой мишени, мониторы нейтронного потока и др. — в значительной степени были сконструированы, изготовлены (частично с помощью мастерских института) и собраны молодыми сотрудниками, только что окончившими ленинградские вузы — Ю.М. Артемьевым, И.А. Барановым, М.И. Кузнецовым, Ю.А. Селицким, С.М. Соловьевым, Б.М. Ширяевым, В.П. Эйсмонтом и др. Они входили в состав лаборатории А.Н. Протопопова (до 1950 г. — сотрудника КБ-11), специально созданной в институте для получения пучка нейтронов с энергией 14 МэВ и измерений на нем. На этом пучке при интенсивности около 10^9 нейтр./сек облучались мишени из изотопов $^{235,\,238}U$ и ^{239}Pu с целью определения выходов различных осколков деления. Выделение осколков из облученных образцов производили радиохимическим путем (в лабораториях Г.М. Толмачева, В.Н. Ушатского, Д.М. Зива), а определение выходов — путем измерения их β-активности с помощью торцевого счетчика, проградуированного по эталонным препаратам. Торцевые счетчики с очень тонкими слюдяными окошками (0,005 ±0,001 мг/см^2) изготавливались в институте. Особенно преуспел в этом деле молодой физик В.А. Юргенсон. В измерении активности осколков принимали участие М.А. Бак, К.Я. Громов, Р.Б. Иванов, И.Т. Крисюк, А.Н. Силантьев, А.М. Соколов, А.В. Сорокина, Г.В. Филатова и др.

Еще ранее, в конце 40-х годов, до работ на нейтронной трубке, К.А. Петржак с сотрудниками проводили облучение тех же изотопов урана и плутония нейтронами делительного спектра, полученными с помощью конвертора — пластины урана, обогащенного ^{235}U, помещенной в тепловую колонну тяжеловодного реактора Теплотехнической лаборатории (ныне Института теоретической и экспериментальной физики). В измерении выходов осколков, кроме уже перечисленных, вместе со своими лабораториями принимали участие В.П. Джелепов, Н.А. Власов и Г.В. Горшков. Последние

двое участвовали и в отборе проб на полигоне после испытания первого атомного заряда (август 1949 г.). Общее руководство разработкой метода определения коэффициента использования ядерного горючего по выходам осколков и его внедрением на полигоне осуществлял И.Е. Старик.

В некоторых последующих испытаниях, кроме выхода ряда осколков деления, например, ^{95}Nb, ^{99}Mo, ^{125}Sb, измерялись также выходы ^{237}U и ^{239}Np, являющихся продуктами реакций (n, 2n) на нейтронах с энергией 14 МэВ и реакции (n, γ) (с последующим β-распадом) на нейтронах делительного спектра.

Метод анализа продуктов ядерных реакций, образующихся при взрыве "изделия", как информативный источник сведений о развитии реакции, полноте использования делящегося материала, вкладе различных компонент в энергию, выделяющуюся при взрыве, и о ряде других важных параметров, использовавшийся почти при всех испытаниях, начиная с первого, давал результаты, хорошо совпадавшие с результатами других методов.

В обеспечении дозиметрических измерений ядерных взрывов, в частности первого ядерного взрыва под водой на Северном полигоне, большую роль играл основоположник отечественной дозиметрии и метрологии ионизирующих излучений, заведующий лабораторией института К.К. Аглинцев.

8. СОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА ВЗРЫВА ПЕРВОГО СОВЕТСКОГО ВОДОРОДНОГО ЗАРЯДА (1953—1996 гг.)

Весь комплекс последних работ проводился, конечно, в тесном взаимодействии с разработчиками зарядов, и в нашем институте до сих пор хранится много отчетов тех времен, где рядом с именами наших ученых стоят подписи прославленных создателей отечественных зарядов из ВНИИЭФ и (позже) ВНИИТФ.

В этой связи мы считаем необходимым внести свою лепту в подтверждение приоритета отечественной науки в создании и испытании 12 августа 1953 года первого в истории термоядерного боеприпаса, относительно которого в литературе до сих пор существуют некоторые разночтения. Так, в известной книге Ричарда Родеса "Создание атомной бомбы" [12] цитируется мнение проф. Ганса Бете, который анализировал продукты этого взрыва, собранные американской авиационной разведкой в стратосфере, и который считает вклад термоядерной части этого заряда незначительным. В опубликованной в 1993 г. Ю.Б. Харитоном и Ю.Н. Смирновым книге [13] вклад термоядерного устройства этого заряда оценивается иначе — не менее 70%.

Этот заряд и идея его конструкции (так называемая "слойка" А.Д. Сахарова) описаны Ю.А. Романовым в 1990 г. в журнале "Природа" [14], так что мы не будем здесь повторять описание этого устройства и его блестящую идею, изложенную одним из его создателей. Мы хотим привести данные анализа продуктов этого взрыва, полученные сотрудниками нашего института

в 1953 г., и использовать наиболее современные значения сечений для оценки этих данных. Интересно, что для такой оценки совершенно не требуется знать конкретное устройство испытываемого заряда и его конструкцию — достаточно знать, что в нем имелось какое-то количество ^{238}U, что было очевидно по наличию в продуктах взрыва ^{237}U и ^{239}Np, образующихся из ^{238}U по реакциям (n, 2n) и (n, γ) соответственно. Сечения этих реакций на нейтронах деления и на нейтронах термоядерной реакции (14 МэВ) существенно различаются, и поэтому отношение содержания ^{237}U/^{239}Np в продуктах взрыва позволяет вычислить отношение флюэнсов термоядерных и делительных нейтронов R. Таким же образом можно использовать данные об отношении количеств ^{237}U к количествам ^{99}Mo и ^{125}Sb, образующимся за счет деления.

Все эти соотношения были измерены сотрудниками института и приведены в отчете 1954 г. № 511/3 — авторы работы И.Е. Старик, Г.М. Толмачев, В.М. Вдовенко и В.Н. Ушатский. Мы использовали сегодняшние данные об эффективных сечениях и выходах соответствующих реакций и получили на основе данных этого отчета следующие значения отношения флюэнсов термоядерных и делительных нейтронов:

R = 4,41 (по соотношению активностей ^{237}U/^{239}Np)

R = 4,12 (по соотношению активностей ^{237}U/^{99}Mo)

R = 4,40 (по соотношению активностей ^{125}Sb/^{99}Mo).

Среднее значение R = 4,31±0,19, т.е. термоядерных нейтронов в зоне взрыва было по крайней мере вчетверо больше, чем делительных. Уже это показывает, что в "слойке" действительно были достигнуты температура и давление, обеспечившие эффективное слияние ядер дейтерия и трития (с вылетом 14 МэВ-ных нейтронов), и что идея А.Д. Сахарова оправдалась.

Можно оценить также вклад термоядерной компоненты в мощность взорванного заряда. Энергия, выделяющаяся при реакции D+T, делится между нейтроном, который уносит 14,1 МэВ, и образующейся α-частицей, которая получает около 3,5 МэВ. Нейтроны либо отдают свою энергию при захвате в ^{238}U (и она тем самым наблюдается в виде энергии осколков деления), либо покидают зону реакции и вклада в энергию взрыва практически не дают. Поэтому будем считать, что при каждой реакции D+T выделяется 3,5 МэВ (и один нейтрон), а при делении ^{238}U около 180 МэВ (и 2,2 нейтрона), т.е. около 82 МэВ на каждый наблюдаемый нейтрон деления. Взяв соотношение флюенсов 4,31, из нашего расчета легко получить вклад в энергию взрыва за счет термоядерной компоненты (т.е. реакции D+T):

$$3{,}5\cdot4{,}31/(3{,}5\cdot4{,}31+82\cdot1) = 0{,}16.$$

Теперь можно рассчитать, какая часть делительной мощности обусловлена делением под действием термоядерных нейтронов, а какая — делением в результате цепной реакции в уране и плутонии, взяв для этого соотношение выходов осколков ^{125}Sb и ^{99}Mo. Не приводя подробностей, назовем резуль-

тат — 0,79 за счет нейтронов с энергией 14 МэВ и 0,05 — за счет нейтронов деления.

Известно, что общая мощность взрыва составила около 400 кт и, следовательно, вклад запала составил около 20 кт, вклад "слойки" — 380 кт, из которых собственно термоядерная реакция внесла около 64 кт. Таким образом, данные, полученные институтом, хорошо подтверждают сведения, опубликованные Ю.Б. Харитоном и Ю.Н. Смирновым в своей книге [13].

В заключение подчеркнем, что вклад Радиевого института в отечественный атомный проект стал возможным благодаря концентрации на нем техники, опыта и знаний ученых, накопленных в фундаментальных исследованиях предыдущих десятилетий, и еще раз доказывает, что большая практика может вырасти только из большой науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вернадский В.И.** Изв. АН СССР, 1936, № 1-2, с. 330-333.
2. **Мысовский Л.В., Рукавишников В.Н.** Доклады Российской Академии Наук, сер.А, 1922, с. 53.
3. **Мысовский Л.В., Жданов А.П.** ДАН СССР, 1939, т. 23, с. 136-137.
4. **Мысовский Л.В., Жданов А.П., Мысовская М.Ю.** ДАН СССР, 1939, т. 23, с. 341-342.
5. **Хлопин В.Г., Пасвик-Хлопина М.А., Волков Н.Ф.** ДАН СССР, 1939, т. 24, с. 117.
6. **Перфилов Н.А.** ДАН СССР, 1940, т. 28, с. 425-427.
7. **Перфилов Н.А.** Изв. АН СССР, сер. физ., 1940, т. 4, с. 340.
8. **Петржак К.А.** Изв. АН СССР, сер. физ., 1940, т. 4, с. 301-304.
9. **Хлопин В.Г.** Изв. АН СССР, сер. физ. 1940, т. 4, с. 305-309.
10. **Петржак К.А., Флеров Г.Н.** ЖЭТФ, 1940, т. 10, с. 1013-1017.
11. **Мещеряков М.Г.** "В.Г.Хлопин: Восхождение на последнюю вершину". Природа, 1993, № 3, с. 93.
12. **Rhodes R.** "The Making of Atomic Bomb". New York, Simon & Shuster, 1988.
13. **Харитон Ю.Б., Смирнов Ю.Н.** "О некоторых мифах и легендах вокруг советского атомного и водородного проектов". — Материалы юбилейной сессии ученого совета центра. РНЦ "Курчатовский институт", 1993, с. 33-56.
14. **Романов Ю.А.** "Отец советской водородной бомбы". Природа, 1990, № 8.

THE GERMAN URANIUM PROJECT AND THE KAISER WILHELM INSTITUTE OF PHYSICS

H. Kant

The nuclear age began with the discovery of uranium fission by the two chemists Otto Hahn (1879-1968) and Fritz Strassmann (1902-1980) on December 19th, 1938 at the Kaiser Wilhelm Institute of Chemistry in Berlin. The experimental results were already published in the first 1939-number of the journal "Die Naturwissenschaften" [1]. In a letter Hahn only informed Lise Meitner (1878-1968) on these experiments, his former physical colleague, who had been in Swedish exile since half a year then. He had asked her for a theoretical interpretation, which she found together with her nephew Otto Robert Frisch (1904-1979) during the days of New Year 1938/39. The German physicists — even those of Hahn's institute like Siegfried Flügge (1912-), or Carl Friedrich von Weizsäcker (1912-) at the Kaiser Wilhelm Institute of Physics — learned of these results only from the mentioned journal article, which appeared on January 6th 1939. Within a few days they also found the right theoretical interpretation. Very quickly it became clear to physicists all over the world that this then opened possibility of obtaining atomic energy also meant the possibility of an atomic bomb. The political situation at that time let to the fear that Germany could built such a bomb and use it against the other countries — ironically the date of outbreaking of World War II corresponds with the date of publication of the Bohr-Wheeler-theory of the fission-process [2]. The atomic bomb programs in U.S.A., Soviet Union and other countries have originated from this fear. In my paper I want to discuss, what really was done in Germany with respect to an atomic-bomb-program.

Already in April 1939 the Ministry of Culture and Education (Reichserziehungsministerium) got an information on the possibilities of uranium fission by

Georg Joos (1894-1959), then physics-ordinarius at Göttingen, after a colloquium-talk by Wilhelm Hanle (1901-1993). In its result the so-called "first uranium club" (Uranverein) [3] was organized under the leadership of the Reich Research Council (Reichsforschungsrat), which was not very effective for several reasons.

At the same time the army was informed on the one hand by their chemical explosives consultant Paul Harteck (1902-1985) from Hamburg, on the other hand by the industrial physicist Nikolaus Riehl (1901-1991), a former student of Hahn and Meitner and at that time the head of a scientific research department in the Auer Company. However, at first the army seemed to be uninterested. All these scientists were not connected with the National Socialist movement in any way, but they were probably motivated in varying degrees by patriotism, nationalism and ambition (professional as well as personal).

In June 1939 Flügge published a review article in the journal *Die Naturwissenschaften*, "Can the Energy Content of Atomic Nuclei Be Harnessed?", and at the same time he wrote a popular version for the German Newspaper *Deutsche Allgemeine Zeitung* [4].

After the start of World War II Army Ordnance (Heereswaffenamt) seemed to become interested rather suddenly [5]. The Reich Research Council was squeezed out and a so-called "second uranium club" was founded under the leadership of the Army Ordnance in September 1939. At that time, Army Ordnance included weaponry research departments for various scientific disciplines, which were staffed by good, competent scientists. The expert in atomic physics at the Army Ordnance was Kurt Diebner [6] (1905-1964), and his assistant became the young physicist Erich Bagge (1912-1996), a pupil of Werner Heisenberg (1901-1976). Diebner organized a first meeting of this second uranium club in Berlin on September 16, 1939. Among the participants were Walther Bothe (1891-1957), Flügge, Hans Geiger (1887-1945), Hahn and others. A second, more important meeting was ten days later in the Army Ordnance. Now among the participants was also Heisenberg, then ordinarius of theoretical physics at the university of Leipzig. A detailed plan for the project was worked out with the two main points *construction of an uranium machine* and *production of U235-bomb-material by separation of isotopes*. Heisenberg was charged to investigate the theoretical basis of an uranium machine. Furthermore it was decided to take over the Kaiser Wilhelm Institute (KWI) for Physics in Berlin by the army with the intention of turning it into a center of military uranium research, while several decentralized groups — especially at university institutes — should deal with special questions of the project.

In October 1939 the Army Ordnance informed the Kaiser Wilhelm General Secretary that the Army was requisitioning the Kaiser Wilhelm Institute for Physics for war work. The Kaiser Wilhelm Institute for Physics was founded in 1917 with

Albert Einstein (1879-1955) acting as its director; a few years later Max von Laue (1879-1960) became its vice-director. But this institute at that time was a very special construction without staff, laboratories or other services [7]. Since the end of the twentieths there were considerations for a new physics institute. These plans were disrupted in 1933, when German National Socialism came to power, but during 1935 to 1937 a new Kaiser Wilhelm Institute for Physics could be built in Berlin-Dahlem with financial help by the Rockfeller Foundation, now with staff, laboratories and a new research-program. The Dutch physicist and Nobel laureate Peter Debye (1884-1966), so far ordinarius for experimental physics at Leipzig university, became its director. But now, in October 1939, less then two months after the start of the war, Debye was forced to leave his directorship and the institute, if not willing to change his citizenship from Dutch to German. Debye found a compromise with the Ministry of Education and left Germany for a standing offer of a guest professorship at Cornell University in the United States [8]. Diebner now became the administrative head of the Kaiser Wilhelm Institute for Physics, but in fact only a part of this institute was involved in nuclear fission research [9]. Heisenberg became a scientific advisor of the institute, but remained in his Leipzig position. Diebner was not very much recognized by most of the "civilian" scientists, and therefore the KWI for Physics became a centre only in a formal sense, in fact it was not more than one group within the uranium project [plate 1]. Among the former assistants of Debye, who became involved in the uranium project at the Kaiser Wilhelm Institute for Physics, were Horst Korsching (1912-), Carl Friedrich von Weizsäcker and Karl Wirtz (1910-1994); soon this group was completed by Fritz Bopp (1909-1987), Paul Müller and Karl-Heinz Höcker (1915-).

The number of scientists, who were involved in the German uranium project, was not very much more than seventy over the times, and they were concentrated to different groups at several universities and Kaiser Wilhelm institutes. It should be mentioned, that most of the leading scientists in this project did not define its contents very strong, for not at least they tried to use it for saving young scientists from military service at the front [10].

A first important result was Heisenberg's first secret report [plate 2] "The Possibility of Technical Energy Production from Uranium Fission", dated already from December 6th, 1939, in which he had worked out the theory of energy production through nuclear fission (based on Bohr's and Wheeler's arguments). Its summary contains the significant sentences: "The fission process with uranium ... may also be used ... to produce energy on a large scale. ... The enrichment of uranium-235 provides the only possibility enabling one to reduce the volume of the machine ... Furthermore, it provides the only method of producing explosives

that surpass in explosive power the presently strongest explosives by several orders of magnitude [11]."

The theoretical group of the uranium-project at the Kaiser Wilhelm Institute for Physics in Berlin was formally under the leadership of C.F. von Weizsäcker, but in fact dominated by Heisenberg, v. Weizsäcker's honored teacher. While Heisenberg was working out the theory of chain reaction, v. Weizsäcker and his group dealt with the development of a uranium machine [plate 3]. In February 1940 he presented together with Müller and Höcker his first secret report "Calculation of Energy Production in the Uranium Machine" [12]. In his paper "A possibility of Energy Production from U 238" from July 1940 he discussed the possibility of the now so-called plutonium-process [13].

In his first report Heisenberg had stressed heavy water and carbon as feasible moderators for an uranium machine. As a result of misinterpreted measurements of neutron absorption by Bothe [14] as well as Heisenberg's calculation that a machine composed of carbon and uranium would require much more material than a heavy water devise, German scientists concentrated their efforts on a heavy water machine. In August 1940 Robert Döpel (1895-1982) from Heisenberg's Leipzig group demonstrated experimentally that heavy water was an excellent moderator, which implied that a machine built from natural uranium and heavy water should work [13].

When Heisenberg and v. Weizsäcker had solved the fundamental theoretical problems of fission process and uranium machines in 1940, they both soon lost interest in this matter and left detailed further research mostly to their collaborators like Höcker, Müller and Wirtz in Berlin and Döpel in Leipzig. Heisenberg again began to deal with problems of elementary particle physics (in 1943 he published a book on cosmic rays), and v. Weizsäcker continued working on cosmological problems.

Inside the uranium program the years of 1941 and 1942 were dominated by "model experiments" with respect to an uranium machine. But the experimental program progressed slowly, for only little amounts of uranium and heavy water were available. At the KWI for Physics Karl Wirtz and his co-workers studied a plane layer arrangement of uranium and heavy water, while Döpel in Leipzig used a spherical layer-geometry, based on an idea of Heisenberg [13]. In autumn 1941 the results of these Leipzig experiments were encouraging. In May 1942 — one month before the Chicago team with Enrico Fermi (1901-1954) gained positive results — the Leipzig group could validate in experiment the positive neutron-production [13]. That means, that with respect to the scientific results the German program in spring 1942 was on a similar level than for instance the American or the British programs.

But at that time the question on the further progress of the German program was more or less decided. At the end of February 1942 a three-days conference on the uranium project took place in Berlin at the KWI for Physics, and furthermore for the last day, the 26th of February, a popular lecture series, sponsored jointly by the Army Ordnance and the Reich Research Council for a restricted audience, was set up to provide a showcase for nuclear power [plate 4]. Among other things the whole conference program shows that the German project was mainly divided into three parts: the production of uranium and heavy water, uranium isotope separation, and uranium machines. Without going into detail here we can summarize the results in this way, that with the exception of uranium isotope separation all the other aspects of research made good progress.

While the conference was naturally mainly concentrated on scientific questions, the following meeting makes clear that all participating scientists must also have been fully aware of the military importance of this research, that means they must have been known, that an atomic bomb was the main purpose of military interest. I stress this point, for after the war many German nuclear scientists (among them Heisenberg and v. Weizsäcker) spread the view that German scientists did not built an atomic bomb, because they did not want to built one. Surely, by different reasons, some wanted it more and some wanted it less, but as Wirtz pointed out later: "...up from the beginning also German scientists did not throw any doubt on the fact that an atomic bomb might be the final point of such a development" [13]. And in this connection the scientists also saw this February-meeting as an opportunity to secure financial and material support for their research from industry or army.

In fact, this lecture afternoon was successful in a rather curious manner. On one hand it became clear that the construction of an energy producing machine as well as of an atomic bomb would be possible, but weather in military nor in other aspects nuclear energy would be applicable during a year or any other comparable period. With respect to the military and economic situation of Germany at that time the leading military persons in the project came to the conclusion that an atomic bomb would not be available for Germany during this war and they stopped their commitment. But on the other hand it became clear that nuclear energy could be a weapon of the future — with regard to both, military and nonmilitary — and therefore other financial fonds were opened for the project (furthermore including a special amount by the army). In summer 1942 the uranium project again came under administration of the Reich Research Council, which intended to control nuclear power research as completely as the army had done. With the date of July 1st, 1942 the KWI for Physics was returned to the Kaiser Wilhelm Society [13]. As Debye would not return in the foreseeable future, a new director had to be appointed. After some wrangling behind the scenes [14] Heisenberg was called;

he left Leipzig and took over his new function at the KWI and also a chair at the University of Berlin [15]. With reverence to Debye Heisenberg was not entitled "director *of* the institute" but "director *at* the institute".

During his time in Berlin Heisenberg's primarily aim was to realize the decisive experiment of a self-sustaining nuclear fission chain reaction for energy production in a uranium machine. During 1944 five greater experiments with different layer arrangements were run in Berlin. But the lack of material caused a lot of difficulties. In November/December 1944 the last Berlin experiment was run, the so-called B-VII, and in comparison with the former ones it led to the best neutron production.

For reasons of war-development already during 1943 it was begun to evacuate important institutions from Berlin, among them institutes of the KWG. As location for the KWI for Physics Hechingen, a small place in South-Germany, was chosen. While the series of experiments was continued in Berlin, a new uranium machine experiment was prepared in Hechingen. For the first time the Heisenberg-group used a lattice-construction, which previously was already suggested by Diebner. This experiment, which was called B-VIII and proved to be the final German one, was carried out in February 1945 in a rock cellar in the nearby village Haigerloch, and it came very close to a self-sustaining chain reaction.

But a few weeks later the German uranium program was brought to a sudden and definite end. Allied armies invaded Germany, and in the middle of April the American ALSOS mission came to Hechingen and captured the main German nuclear scientists, among them Bagge, Diebner, Heisenberg, v. Weizsäcker and Wirtz.

Here is not the place to give a judgment of the German Uranium program. My aim was only to show the main steps and to make clear that it was — against former statements of various German scientists — in a wide range a program with the purpose to have a bomb at its end. And against former statements of the ALSOS mission German scientists understood very well the possibilities and mechanisms of this process. At last the German program continued almost unchanged after the summer 1942, but whereas for instance the American program changed to a real bomb program at that time the German program did not.

The question, if the Germans understood the bomb-mechanisms, was discussed controversely again after the edition of the minutes of Farm-Hall. One point in this discussion is the amount of the critical mass, which was reported as too high by Heisenberg at Farm-Hall [16]. But I think, this is not the point, for at that time the Germans really were far away from a bomb, and therefore obviously they did not have the last knowledge on it (but principally they were able to work it up in shortest time).

That efforts with regard to military purposes were not increased but turned down in 1942, was not a merit of the German scientists, and it had nothing to do neither with moral reflections or anything like this nor with deficits in knowledge, but only with the military and economic situation and strategy of Germany at that time. In fact and seen from nowadays, German nuclear scientists only can feel lucky that they have not been forced in last consequence to a decision on building the bomb [17].

REFERENCES

1. **Hahn, Otto u. Fritz Straßmann**: Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. Die Naturwissenschaften 27(1939)1, SS. 11-15.

2. **Bohr, Niels u. John Wheeler**: The mechanism of nuclear fission. Physical Review 56 (1939), pp. 426-450 — This paper appeared on September 1st, 1939. For the characterization of the whole political situation we only refer here to some special dates: Conference of Munich (29.09.1938); socalled Reichspogromnacht in Germany (9./10.11.1938), german military move into Böhmen and Mähren, end of the Spanish Civil War (March 1939), italian military move into Albania (07.04.1939), Roosevelts warning to Hitler and Mussolini not to continue annexation-policy (14.04.1939), German-Italian-military pact (22.05.1939), Hitler-Stalin-Pact (23.08.1939).

3. Members were — among others — Walther Bothe, Peter Debye, Gerhard Hoffmann, Hans Geiger.

4. **S. Flügge**: Kann der Energieinhalt der Atomkerne technisch nutzbar gemacht werden? Die Naturwissenschaften 27(1939)23/24, SS. 402-410.

5. In fact the Army Ordnance had collected information on nuclear fission since Harteck's letter and decided to deal more extensively with the uranium problem in August 1939. Harteck got an positive answer on his letter from April 24th on August 22nd, 1939.

6. Diebner was a pupil of Gerhard Hoffmann (1880-1945), experimental physicist in Halle (1928-37) and Leipzig (1937-45), who also was involved in the uranium project (cyclotron). Heisenberg had a bad mind of Diebner's scientific competence.

7. **H. Kant**: Albert Einstein, Max von Laue, Peter Debye und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin. In: Die Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Gesellschaft und ihre Institute; Studien zu Ihrter Geschichte: Das Harnack-Prinzip. Edited by B.v. Brocke and H. Laitko; W. de Gruyter Berlin / New York 1996, SS. 227-243.

8. It is interesting to mention, that Debye in this way formally stood on as director of the Kaiser Wilhelm Institute for Physics and also as professor at the University of Berlin — officially he was on leave nearly until the end of the war (and not an emigrant). But he did not return after the war. — See i.e. H. Kant: Peter Debye und die Deutsche Physikalische Gesellschaft. In: The Emergence of Modern Physics. Ed. by D. Hoffmann, F. Bavilacqua, R.H. Stuewer; Università degli Studi di Pavia 1996, pp. 505-520.

9. The departments of Max von Laue and Hermann Schüler remained in that part of the institute, which furthermore was under administration of the Kaiser Wilhelm Gesellschaft. Also Ludwig Bewilogua, so far assistent of Debye and a specialist in low-temperature physics, remained in that part of the institute and became its administrative head.

10. A rather good overview on the scientific work, done during that time, gives the published list of secret papers by Werner Tautorius (that is Erich Bagge): Die deutschen Geheimarbeiten zur

Kernenergieverwertung während des zweiten Weltkrieges 1939-1945. Atomkernenergie 1(1956) SS. 368-370, 423-425.

11. **W. Heisenberg**: Die Möglichkeit der technischen Energiegewinnung aus der Uranspaltung. In: Werner Heisenberg. Gesammelte Werke/Collected Works Part AII. Ed. by W. Blum, H.-P. Dürr, H. Rechenberg. Springer, Berlin/Heidelberg/New York 1989, SS. 378-396 (here p. 396).

12. **Carl-Friedrich von Weizsäcker, Paul Müller, Karl-Heinz Höcker**: Berechnung der Energieerzeugung in der Uranmaschine. G-60; unpublished report (26 Feb 1940).

13. In March 1943 the Army Ordnance also retired from Diebner's group in Gottow and he then came under administration of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR).

14. Some people favoured Bothe — see D. Hoffmann, H. Kant, H. Laitko: Walther Bothe — Wissenschaftler in vier Reichen. Preprint Nr. 26/95, p. 10 (Forschungsschwerpunkt Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie Berlin).

15. On the other hand v. Weizsäcker was appointed to Strasbourg, but remained in close connection with the Berlin group at the KWI for Physics.

16. **J. Logan**: The Critical Mass. American Scientist, May-June 1996, pp. 263-277

17. Used literature, which is not quoted here in detail (selected for further reading):

-**D. Hoffmann**: Operation Epsilon; Die Farm-Hall-Protokolle oder Die Angst der Alliierten vor der deutschen Atombombe. Rowohlt Berlin 1993.

-**H. Kant**: Carl Friedrich von Weizsäcker als Physiker in Berlin (1936-1942). In: Erfahrung des Denkens — Wahrnehmung des Ganzen; Carl Friedrich von Weizsäcker als Physiker und Philosoph. Hrsg. von P. Ackermann, W. Eisenberg etc.; Akademie-Verlag Berlin 1989, S. 202-210.

-**H. Kant**: Heisenberg und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik in Berlin. In: Werner Heisenberg — Physiker und Philosoph. Hrsg. von B. Geyer, H. Herwig u. H. Rechenberg; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg/Berlin/Oxford 1993, S.152-158.

-**Th. Powers**: Heisenberg's War. The Secret History of the German Bomb. New York 1993.

-**M. Walker**: German National Socialism and the Quest for Nuclear Power. Cambridge University Press 1989.

Plate 1

Research Groups within the German Uranium Project (1940-42)

(the number of persons is only at a rough guess, based on WALKER)

1) Walther Bothe (KWI for Medical Research Heidelberg / Dept. for Physics): measurements of nuclear constants (6 physicists)

2) Klaus Clusius (Univ. of Munich): isotope separation and heavy water production (ca 4 physical chemists and physicists)

3) Kurt Diebner (Army Ordnance Lab in Gottow near Berlin): measurements of nuclear constants (ca 6 physicists)

4) Otto Hahn (KWI for Chemistry Berlin): transuranic elements, fission products, isotope separation, measurements of nuclear constants (ca 6 Chemists and physicists)

5) Paul Harteck (Univ. of Hamburg): heavy water production and isotope separation (5 physical chemists, physicists, chemists)

6) Werner Heisenberg (Univ. of Leipzig; advisor at the KWI for Physics Berlin): uranium machines isotope separation, measurements of nuclear constants (ca 7 physicists and physical chemists)

7) Hans Kopfermann (Univ. of Kiel, later Univ. of Göttingen): isotope separation (2 physicists)

8) Nikolaus Riehl (Oranienburg nearby Berlin; Auer Company): uranium production (ca 3 researchers)

9) Georg Stetter (Univ. of Vienna): measurements of nuclear constants and transuranic elements (ca 6 physicists and physical chemists)

Plate 2

Secret papers on the German Uranium Project by Heisenberg and the Leipzig Group (selection)

- W. Heisenberg: Die Möglichkeit technischer Energiegewinnung aus der Uranspaltung
  Part I: 06.12.1939
  Part II: 29.02.1940
- R. u. K. Döpel, W.Heisenberg: Bestimmung der Diffusionslänge thermischer Neutronen in schwerem Wasser 07.08.1940
- R. u. K. Döpel, W. Heisenberg: Bestimmung der Diffusionslänge thermischer Neutronen in Präparat 38 05.12.1940
- R. u. K. Döpel, W. Heisenberg: Versuche mit einer Schichtenanordnung von D_2O und Präp 38 28.10.1941

- R. u. K. Döpel, W. Heisenberg: Die Neutronenvermehrung in einem D_2O-38-Metallschichtensystem 26/28.02.1942
- R. u. K. Döpel, W. Heisenberg: Der experimentelle Nachweis der effektiven Neutronenvermehrung in einem Kugel-Schichten-System aus D_2O und Uran-Metall July 1942
- R. Döpel: Bericht über zwei Unfälle beim Umgang mit Uranmetall July 1942

Plate 3

Secret papers on the German Uranium Project by v. Weizsäcker and the KWI-Ph-Group (selection)

- C. F. v. Weizsäcker, P. O. Müller, K. H. Höcker: Berechnung der Energieerzeugung in der Uranmaschine 1940
- C. F. v. Weizsäcker: Die Energiegewinnung aus dem Uranspaltprozeß durch schnelle Neutronen 1940
- C. F. v. Weizsäcker: Eine Möglichkeit der Energiegewinnung aus U238 1940
- C. F. v. Weizsäcker: Über den Temperatureffekt der Schichtenmaschine 1941
- C. F. v. Weizsäcker: Verbesserte Theorie der Resonanzabsorption in der Maschine 1942
- F. Bopp, E. Fischer, W. Heisenberg, C. F. v. Weizsäcker, K. Wirtz: Untersuchungen mit neuen Schichtenanordnungen aus U-Metall und Paraffin 1942
- W. Heisenberg, F. Bopp, E. Fischer, C. F. v. Weizsäcker, K. Wirtz: Messungen an Schichtenanordnungen aus 38-Metall und Paraffin 1942

Plate 4

Papers, presented at the 2nd scientific meeting of the study group "nuclear physics" (Reich Research Council — Army Ordnance) at Febrauary 26th, 1942, 11 o'clock in the "Haus der Deutschen Forschung", Berlin-Steglitz, Grunewaldstraße 35

1. Kernphysik als Waffe — Prof. Dr. Schumann
2. Die Spaltung des Urankernes — Prof. Dr. O. Hahn
3. Die theoretischen Grundlagen für die Energiegewinnung aus der Uranspaltung — Prof. Dr. W. Heisenberg
4. Ergebnisse der bisher untersuchten Anordnungen zur Energiegewinnung — Prof. Dr. W. Bothe
5. Die Notwendigkeit der allgemeinen Grundlagenforschung — Prof. Dr. H. Geiger
6. Anreicherung der Uranisotope — Prof. Dr. K. Clusius
7. Die Gewinnung von Schwerem Wasser — Prof. Dr. P. Harteck
8. Über die Erweiterung der Arbeitsgemeinschaft "Kernphysik" durch eteiligung anderer Reichsressorts und der Industrie — Prof. Dr. Esau

ПЕРВЫЙ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ И НА КОНТИНЕНТЕ АТОМНЫЙ РЕАКТОР "Ф-1"

И.Ф. Жежерун

Эта работа основана на оригинальных материалах написанной мною книги "Строительство и пуск первого в Советском Союзе атомного реактора", изданной в 1978 г. Это был уран-графитовый реактор, названный Ф-1 — физический первый. В книге кратко описаны все теоретические и экспериментальные работы по строительству и пуску реактора Ф-1 и первые работы на нем по подготовке строительства промышленного реактора А-1 с указанием авторов этих работ. Книга заканчивалась приложением — списком сотрудников сектора N 1 Лаборатории N 2, строивших этот реактор. Но по указанию свыше список был изъят. Здесь я смогу только кратко рассказать об этих работах.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Начну с перечисления теоретических исследований, выполненных в 1943—1947 гг. Это были работы по:

- замедлению и диффузии нейтронов, их пространственному и энергетическому распределениям;
- распределению тепловых нейтронов в мультиплизирующей призме (теория экспоненциального эксперимента) и альбедо;
- критическим размерам систем с отражателем и без него (в том числе и метод многих групп и теории бесконечной решетки);
- кинетике цепной реакции и стержням регулирования;
- гетерогенной теории размножающих систем и др.

Авторами этих работ были И.И. Гуревич, Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон, И.Я. Померанчук, А.И. Ахиезер, В.С. Фурсов, С.М. Фейнберг, Е.Л. Фейнберг, И.М. Франк и др. А.И. Ахиезер и И.Я. Померанчук написали руко-

писную книгу "Введение в теорию нейтронных мультиплизирующих систем (реакторов)", которой мы все пользовались.

Уже к 1947 г. нашими учеными были разработаны практически все вопросы теории атомных реакторов. При этом в некоторых вопросах кинетики и гетерогенной теории они продвинулись дальше американских ученых.

2. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И.В. КУРЧАТОВА И И.С. ПАНАСЮКА ПО УРАН-ГРАФИТОВЫМ СИСТЕМАМ (1943 г.)

Эксперименты сводились к регистрации нейтронных полей с помощью небольшой ионизационной BF_3 камеры с радиотехническим усилителем импульсов. В измерениях использовались Ra-α-Be и Ra-γ-Be источники нейтронов. Тепловые нейтроны отделялись от надтепловых с помощью кадмиевых фильтров. Замедлителями нейтронов служили графит и вода.

В первых экспериментах И.В. Курчатов и И.С. Панасюк измерили:

- полные сечения для тепловых (подкадмиевых) нейтронов для графита (σ_t = 4,85 ±0,25 барн) и образца литого металлического урана (σ_t = 16,5 ±0,2 барн);
- убедились в идентичности спектров замедления в воде и графитовых призмах разных размеров;
- по измерениям в графитовой призме из ачесоновского графита с размерами 88×88×312 см оценили возрасты нейтронов для Ra — γ — Be и Ra — α Be источников и определили длину диффузии L = 50 ±13 см и сечение поглощения $\sigma_c = (5{,}0 \pm 1{,}4)\cdot 10^{-27}$ см^2 (при средней плотности графита 1,5 г/см^3).

Были произведены измерения еще в двух графитовых призмах размерами 110×110×320 см, сложенной из графитовых электродов, и 112×112×290 см, сложенной из брусков, изготовленных по заказу Лаборатории № 2 с тщательным отбором сырья. Призмы сооружались в палатке (см. рис. 1). Сечения поглощения оказались равными $\sigma_c = (20 \pm 0{,}8)\cdot 10^{-27}$ см^2 и $(8{,}5 \pm 0{,}5)\cdot 10^{-27}$ см^2. По расчетам И.И. Гуревича и И.Я. Померанчука для уран-графитового реактора пригоден графит с $\sigma_c \leq 5\cdot 10^{-27}$ см^2, а сечение поглощения атома углерода, по имевшимся данным, равно $3\cdot 10^{-27}$ см^2.

Химический анализ примесей в золе графитовых электродов, выполненный Н.Ф. Правдюком, показал, что потребуется разработка специальной технологии производства графита для реактора. Эксперименты со слоем урана в призме (см. рис. 2) дали возможность оценить:

- возраст нейтронов деления τ_f = 390 ± 40 сек (при плотности графита 1,5 г/см^3);
- величину $\nu\theta$ и φ.

Г.Н. Флеровым, В.А. Давиденко, Б.В. Гавриловским, И.Е. Кутиковым, Н.А. Лазуковым, Н.М. Мухиным, Д.В. Тимощуком проводились также исследования уран-водных систем. Максимальное K_∞= 0,97±0,025 было получено

при концентрации $C_H/C_U = 1{,}7$. Обнаруженный Д.В. Тимошуком эффект зазора мог увеличить K_∞. Но, как потом оказалось, не настолько, чтобы сделать $K_\infty > 1$.

Эффект зазора был обнаружен и американскими учеными.

3. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ПОДГОТОВКЕ К СТРОИТЕЛЬСТВУ УРАН-ГРАФИТОВОГО РЕАКТОРА

К концу 1945 г. в Лабораторию № 2 начал поступать во всевозрастающих количествах малозольный графит, производившийся специально для уран-графитового реактора в форме брусков размерами 10×10×60 см, а к январю 1946 г. — первые партии металлического урана в виде небольших цилиндрических блоков.

Успех в осуществлении цепной ядерной реакции деления урана в проектировавшемся уран-графитовом реакторе, как было достаточно ясно из проведенных исследований и стало несомненным после опубликования отчета Г.Д. Смита, целиком зависел от чистоты этих материалов. Поэтому работы по проверке графита и урана, дифференциация и отбор этих материалов в соответствии с требуемыми критериями, имели первостепенное значение и явились центральными среди всех работ по постройке реактора, проводившихся сектором № 1 Лаборатории № 2.

Сектор № 1, возглавляемый самим И.В. Курчатовым, стал бурно расти, увеличившись за 1946 г. с 11 до 76 человек. Но костяк коллектива, на который непосредственно опирался И.В. Курчатов, сформировался уже к марту 1946 г. Это были И.С. Панасюк — зам. начальника сектора и научные сотрудники: Е.Н. Бабулевич — ответственный за СУЗ; Б.Г. Дубовский — за радиационную безопасность и дозиметрию; И.Ф. Жежерун — за нейтронно-физический контроль и отбор графита и урана; А.А. Журавлев — за конструкцию и сборку реактора; Н.В. Макаров — за разработку детекторов и радиотехнической аппаратуры, а также Н.М. Конопаткин, В.А. Кулаков, К.Н. Шлягин. Позже появились и другие сотрудники — В.С. Анастосевич, В.В. Скляревский. А теоретик В.С. Фурсов работал в тесном контакте с нами, развивая теорию эксперимента.

3.1. Нейтронно-физический контроль графита и урана

Первые партии графита проверялись экспоненциальным методом в графитовых призмах весом около 7 тонн. Но это затрудняло дифференциацию графита по качеству, тем более, что масса многих партий была значительно меньше 5 тонн. Поэтому был разработан более удобный сравнительный метод, требовавший всего около 1,5 тонны графита. Его теорию и развил В.С. Фурсов. Схема метода приведена на рис.3. В заштрихованной части горизонтальной графитовой призмы из тщательно проверенного графита, принятого за эталон, помещается испытуемый графит. Источник нейтронов

помещается попеременно в точках $И_1$ и $И_2$ на стороне эталонного и испытуемого графита, детектор — в точке О. Отношение скоростей счета на стороне испытуемого и эталонного графита и определяет его сечение поглощения (с учетом, разумеется, удельных их плотностей).

Контроль графита этим методом велся группой И.Ф. Жежеруна круглосуточно в палатке. Было проверено 99 партий графита весом около 600 тонн, и только 5% из них имели сечение поглощения больше $5{\cdot}10^{-27}$ см^2. Остальные имели в среднем σ_c= $3{,}7{\cdot}10^{-27}$ см^2 и среднюю плотность 1,69 г/см^3. Зольность (остаток после сжигания) колебалась в пределах 0,005-0,04%. Ее химический анализ проводил Н.Ф. Правдюк с сотрудниками. Как и ожидалось, сечение поглощения партии графита коррелировало с их зольностью (см. рис.4).

В октябре 1946 г. из проверенных сравнительным методом партий графита со средним сечением = $3{,}9{\cdot}10^{-27}$ см^2 был сооружен графитовый куб размером 6х6х6 м и измерена в нем длина диффузии L. Она оказалась равной 48 ±1,0 см, откуда следует σ_c = $(4{,}0 \pm 0{,}2){\cdot}10^{-27}$ см^2 при плотности графита 1,69 г/см^3 (см. рис.5). Измерения в кубе были выполнены И.Ф. Жежеруном, Н.М. Конопаткиным, В.А. Кулаковым, И.С. Панасюком и К.Н. Шлягиным.

3.2. Нейтронно-физический контроль урана

Нейтронно-физический контроль урана также проводился сравнительным методом группой И.Ф. Жежеруна в той же палатке. Для этого 432 блочка урана (~750 кг) размещались в графитовой призме (рис. 6), образуя квадратную решетку с шагом 20 см, занимавшую среднюю часть призмы длиной 1,2 м. Чем больше отношение δ скорости счета BF_3 камеры в точке 5 к скорости счета в стационарном потоке нейтронов, тем более высокого качества данная партия урана. Величина δ, названная физическим индексом партии, оказалась в пределах от 1,15 ±0,02 до 1,80 ±0,03. В дополнительных экспериментах было установлено, что при δ <1,3 коэффициент размножения K_∞<1. Поэтому все партии с индексом δ<1,3 браковались.

Контроль урана был тяжелой круглосуточной работой, потребовавшей многократной проверки всей продукции, так как признаки, по которым его можно было разделить на закладки, заранее не были известны. Только при третьей проверке, когда уран, производившийся в разных цехах завода, помещался в разные закладки, обнаружилось, что первый цех давал уран с индексом δ в пределах 1,52÷1,79, а второй — в пределах 1,17÷1,51. Это было полной неожиданностью для заводских специалистов, но проведенная ими работа помогла и второму цеху наладить производство хорошего урана с индексом δ= 1,64÷1,80.

Таким образом, нейтронно-физический контроль урана не только дал возможность рассортировать его по качеству, но и способствовал улучшению

технологии его производства. Этот контроль позволил потом рационально расположить уран в реакторе, что обеспечило успех его пуска.

3.3. Экспоненциальные эксперименты с уран-графитовой решеткой были проведены И.В. Курчатовым и И.С. Панасюком в январе-марте 1946 г. в призме размерами 99×99×350 см и L = 48±2 см для ее графита (см. рис. 7).

Изучались следующие решетки:

- с кубической ячейкой размером 22×22×22 см при отношении атомных концентраций углерода к урану $C_C/C_U = 250$;
- с объемно-центрированной кубической ячейкой тех же размеров при $C_C/C_U = 125$;
- с теми же ячейками, но при замене блочков урана, которые имели длину 100 мм и диаметр 32 мм, равными по величине и поглощению нейтронов алюминиевыми цилиндрами со смесью бора и парафина.

Результаты измерений оказались следующими: K_∞= 0,90 ±0,02, θ= 0,73 ±0,03, L = 25 для кубической, и K_∞ = 1,09 ±0,02, θ = 0,86 ±0,03 и L = 18 ±0,2 для объемно-центрированной решетки.

Н.Н. Шлягиным и И.С. Панасюком в мае-октябре 1946 г. измерялись полные сечения взаимодействия тепловых нейтронов для образцов графита и урана разной кристаллической структуры. Они показали, что с увеличением кристалликов полное сечение уменьшается. Но для произведенного для реактора графита и урана можно было принять $\sigma_c = (4,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-24}$ см^2 и $\sigma_u = (15,8 \pm 0,4) \cdot 10^{-24}$ см^2.

Была сделана также оценка размеров реактора в форме шара в предположении, что имевшиеся графит и уран обеспечат K_∞= 1,04÷1,05 решетки, а $R_{кр}$ будет равно 3,5÷4 м.

Не будем останавливаться на описании разработанных и изготовленных детекторов нейтронов, счетных установок и дозиметров радиоактивных излучений и перейдем к описанию сооружения реактора и его пуску.

4. СООРУЖЕНИЕ И ПУСК РЕАКТОРА

Здание для реактора было разработано ОКСом Лаборатории № 2, построено к июню 1946 г. и названо зданием "К". Его устройство ясно из схемы продольного разреза на рис. 8. Для реактора был предназначен котлован площадью 10×10 м, глубиной 7 м. Цифрой 9 отмечены один управляющий и два аварийных стержня, 14 — подземная лаборатория для передвижения стержней. Котлован был оборудован системой радиационного контроля и сигнализацией, системой вентиляции и т.п.

Для уточнения критического радиуса реактора в форме шара в котловане было построено 4 его подкритические модели с объемно-центрированной решеткой (рис.4-7). Измерения мощности J_y нейтронов спонтанного деления в центре (см. рис. 9) показало, что критический радиус реактора близок к

3 м. Точка 3 выскочила из-за ошибочного помещения в центр модели урана плохого качества (R_a и $R_{эф}$ - радиус и эффективный радиус моделей).

Таким образом, радиус активной зоны реактора был принят равным 3 м, а толщина слоя изоляции — 0,8 м. Для его сооружения требовалось около 400 тонн графита и 50 тонн урана. Конструкция реактора разрабатывалась А.А. Журавлевым совместно с В.И. Меркиным, Н.С. Богачевым и Т.А. Лоповком. Она состояла из горизонтальных слоев толщиной 10 см. Слои последовательно укладывались друг на друга. Изоляция собиралась из прямоугольных графитовых кирпичей размерами 10×10×60 см, активная зона — из таких же кирпичей с отверстиями цилиндрической формы, в которые помещались урановые блочки диаметром 32 и 35 мм (и брикеты окислов урана), и составляли объемно-цилиндрированную решетку с шагом 20 см и отношением атомных концентраций n_C/n_U = 80÷100. Руководил бригадой, сооружавшей реактор и его модель, А.А. Журавлев.

На рис. 10 и 11 показаны вертикальный и горизонтальный разрез реактора. Он имел три вертикальных канала диаметром 57 мм для стержней СУЗ, пять горизонтальных (3 цилиндрических диаметром 32 и 57 мм и два квадратных), проходящих вблизи центра реактора, и горизонтальный туннель 40×60 см, состоящий из решетки самого реактора, которую можно было передвигать и помещать в центре реактора для исследования различных вкладышей.

При сооружении реактора велся тщательный контроль за потоком нейтронов в нем. После укладки 62-го слоя стало ясно, что реактор достиг критичности. Под руководством И.В. Курчатова начался его пуск. На рис. 12 показано нарастание плотности нейтронов в нем со временем в зависимости от глубины погружения в реактор регулировочного поглощающего стержня. Впервые реактор стал критическим с $K_{эф}$ =1 в 18 часов 25 декабря 1946 г.

На первых пусках реактора, длившихся с 15 часов до поздней ночи, в разное время присутствовало 17 сотрудников сектора И.В. Курчатова (а не 4, как ошибочно утверждается в ряде публикаций). Все они дали подписку о неразглашении факта пуска, хранящуюся в архиве.

После пуска реактора его работа велась круглосуточно и изучался прежде всего сам реактор: его надкритичность, градуировка регулировочного стержня, распределение нейтронов, поведение при больших пусках и т.п. На рис. 13 приведен график изменения мощности при таком пуске, продемонстрировавший его внутреннюю устойчивость.

5. ЭКСПЕРИМЕНТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОМЫШЛЕННЫМ РЕАКТОРОМ "А"

Первый реактор явился очень ценным инструментом для исследований, связанных со строительством промышленного реактора большой мощности, прежде всего для подбора оптимальной решетки, проверки урановых блочков,

алюминиевых каналов, листового алюминия для оболочек урановых блочков и других материалов. Для этого потребовалось увеличить реактивность, и в мае 1947 г. реактор был достроен: добавлено сверху три полных слоя (30 см) и три неполных. Это увеличило ($K_{эф}$-1) до $3 \cdot 10^{-3}$.

При подборе решетки три центральных вкладыша туннеля Ф1 (рис. 14) заменялись исследуемой решеткой размерами 40×60×180 см и измерялось изменение реактивности $K_{эф}$, максимальная величина которой и определяла наилучшую решетку. Таким методом было исследовано около 30 решеток с шагом 15, 20 и 25 см, блочками урана диаметром 30, 35 и 40 мм, в алюминиевых трубах и без них, с водой и без воды (для удобства вода заменялась слоем парафина). На рис 15 показана часть таких исследований. Было установлено, что алюминиевая оболочка уменьшает K_∞ наилучшей решетки на 2%, слоя воды в 2 мм — на 1,1% и т.п. Эти эксперименты выполнили И.Ф. Жежерун, Е.Н. Бабулевич, В.А. Кулаков, И.С. Панасюк, В.В. Скляревский, В.Н. Чернышов, К.Н. Шлягин; контроль урановых блочков — Б.Г. Дубовский, И.Ф. Жежерун, И.С. Панасюк, В.В. Скляревский, К.Н. Шлягин; контроль алюминиевых труб — И.Ф. Жежерун, В.А. Кулаков, В.Н. Чернышов; листового алюминия — Н.М. Конопаткин, Н.В. Макаров, И.С. Панасюк, В.В. Скляревский, В.Н. Чернышов. И.Ф. Жежеруном измерялись также параметры боратовой руды, П.Г. Дубовским и И.Ф. Жежеруном — смеси этой руды с песком, использовавшейся для защиты реакторов "А". Графит для реактора "А" проверялся непосредственно на заводе при участии И.Ф. Жежеруна.

Выполненные исследования обеспечили успешный пуск промышленного реактора "А".

В заключение хотелось бы отметить, что в книге я следовал принципу И.В. Курчатова — не умалять и замалчивать, а отмечать и подчеркивать вклад каждого научного сотрудника и инженера в общее дело. К сожалению, не все авторы работ соблюдали этот принцип. В.И. Меркин, например, не назвал в числе строителей "Ф-1" и "А" ни И.Ф. Жежеруна, ни В.В. Скляревского, ни К.Н. Шлягина, ни В.Н. Чернышова, несмотря на их немалый вклад. Тем более, что они проверяли графитовую кладку реактора "А" и измеряли в ней длину диффузии "L" с алюминиевыми каналами и без них (см. арх. 1/с-нд 222). А И.Ф. Жежерун также загружал реактор "А" блочками урана.



Рис. 1. Общий вид графитовой призмы, в которой изучались замедление и диффузия нейтронов

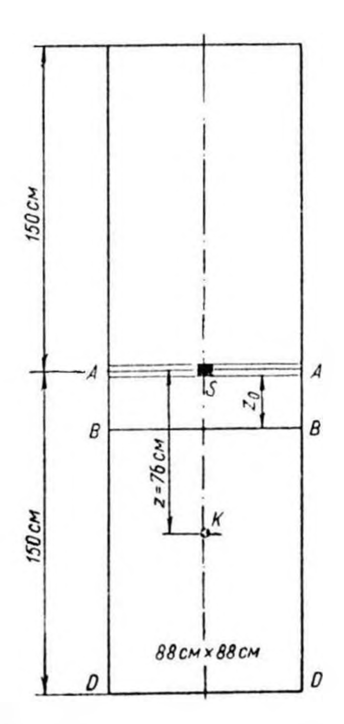
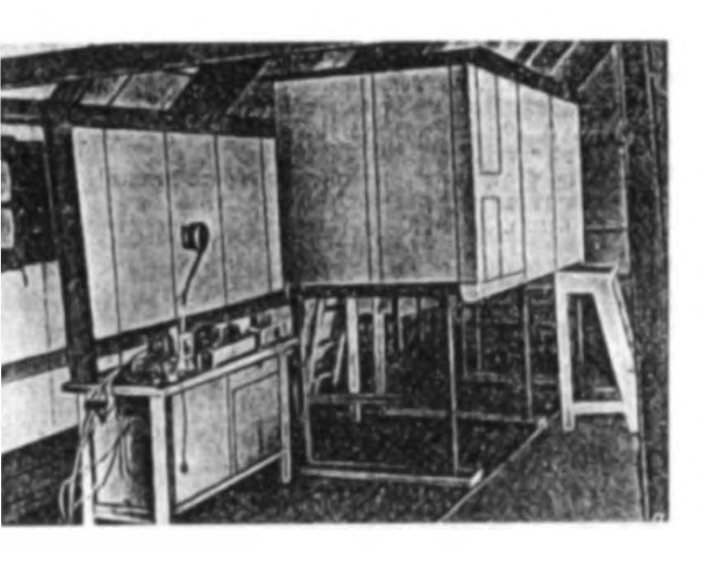


Рис. 2. Схема одного из опытов в графитовой призме со слоем урана: S — источник нейтронов (Ra-γ-Be или Ra-α-Be); K — детектор (BF_3-камера); AA — слой урана или графита; BB — кадмиевая перегородка; DD — поперечные размеры призмы 88x88 см, высота 300 см



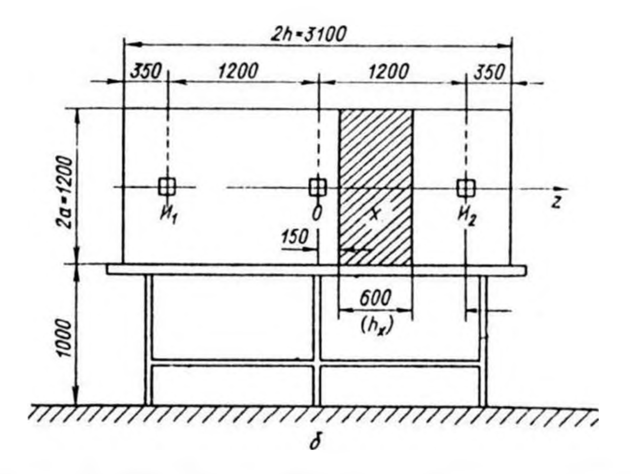


Рис. 3. Общий вид (а) и схема эксперимента (б) для проверки графита сравнительным методом: O — детектор нейтронов; $И_1$ и $И_2$ — места поочередного размещения источника нейтронов; заштрихован вкладыш проверяемого графита

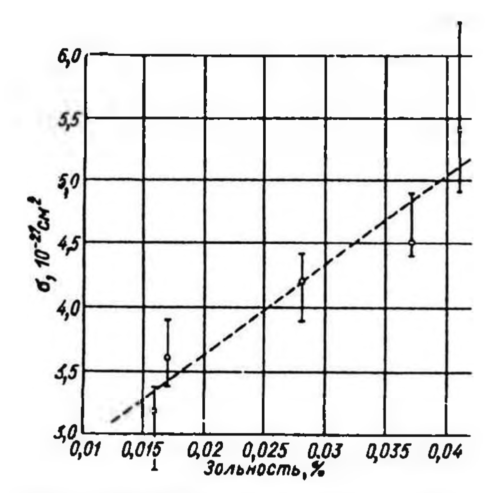


Рис. 4. Результаты проверки графита сравнительным методом. Точки соответствуют средним значениям сечения поглощения σ_c и зольности групп партий графита (весь проверенный графит был разделен на пять групп по возрастанию сечения)

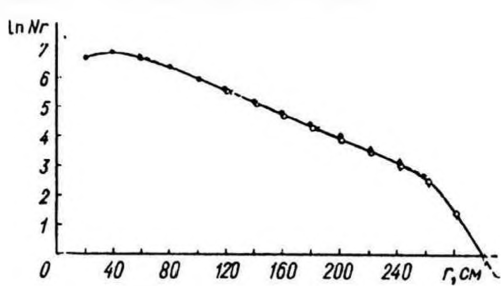


Рис. 5. Результаты измерений плотности тепловых нейтронов *N(r)* вдоль оси 365-тонного графитового куба:
● — измерения BF_3-камерой с источником активностью 200 мкюри;
О — то же, с источником активностью 2000 мкюри;
X — измерения индиевой фольгой

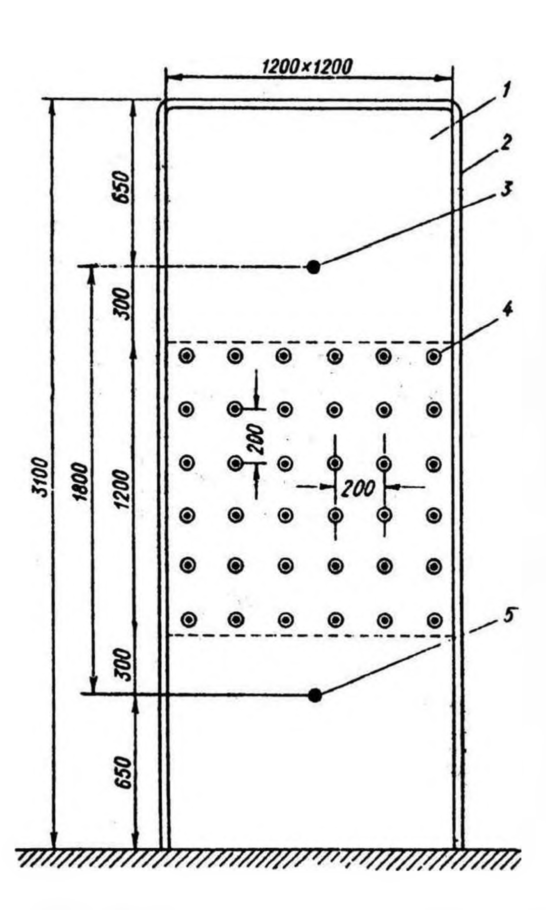


Рис. 6. Схема призмы для нейтронно-физического контроля урана:
1 — графитовая призма размерами 1200x1200x3100 мм; 2 — кадмиевое покрытие призмы; 3 — Ra-α-Be-источник нейтронов; 4 — каналы для урановых блочков; 5 — детектор нейтронов (BF_3-камера)

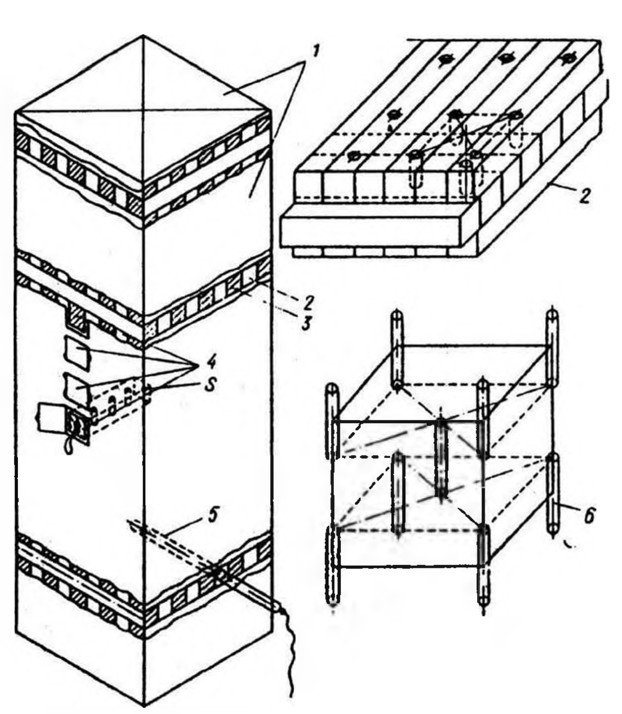
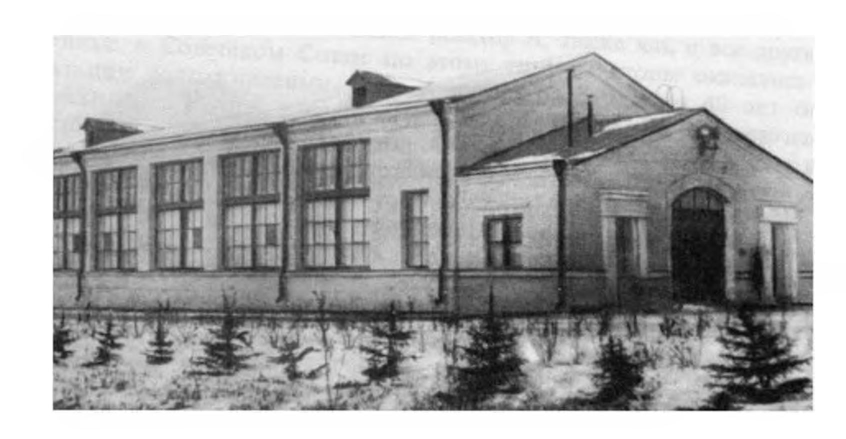


Рис. 7. Схема экспоненциального опыта с уран-графитовой решеткой: 1 — кадмиевое покрытие призмы; 2 — графитовые бруски; 3 — графитовые бруски с цилиндрическими урановыми блочками; 4 — выдвижные графитовые бруски для помещения Ra-γ-Be-источника нейтронов; 5 — канал для детектора — BF_3-ионизационной камеры; 6 — цилиндрические блочки металлического урана



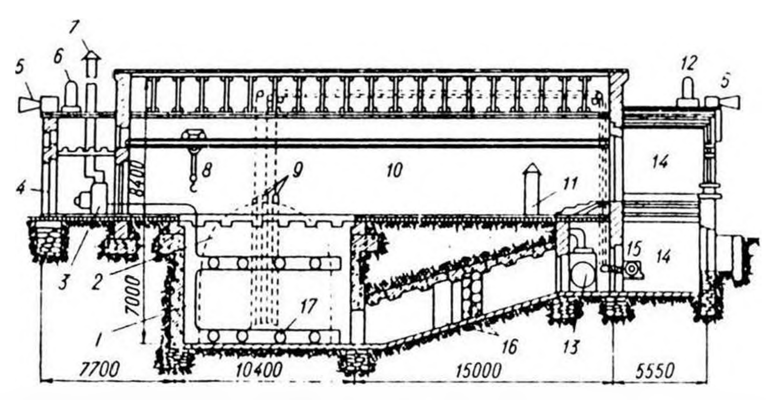


Рис. 8. Внешний вид здания «К» и схема продольного разреза здания: 1 — котлован (10x10x7 м); 2 — реактор; 3, 7, 17 — система вытяжной вентиляции здания; 4 — ворота; 5, 6, 12 — звуковая и световая сигнализация радиационной опасности; 8 — подъемный кран; 9 — регулирующий и аварийный стержни; 10 — главный зал; 11, 13 — система приточной вентиляции; 14 — помещение лаборатории; 15 — лебедка для перемещения стержней СУЗ; 16 — проход в котлован через лабиринт

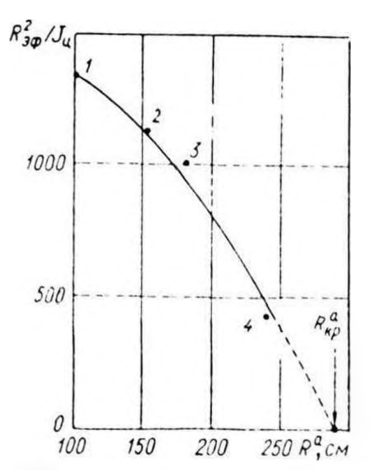


Рис. 9. Результаты измерений в четырех подкритических моделях реактора

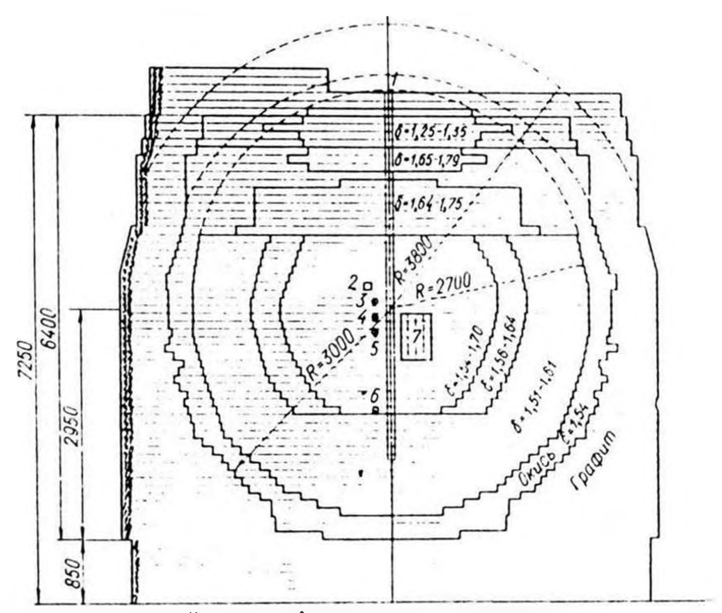


Рис. 10. Вертикальный разрез физического реактора:
1 — вертикальные каналы для стержней СУЗ; 2—6 — горизонтальные каналы; 7 — экспериментальный туннель с поперечным сечением 400x600 мм; δ — индекс загруженного урана по физическому контролю

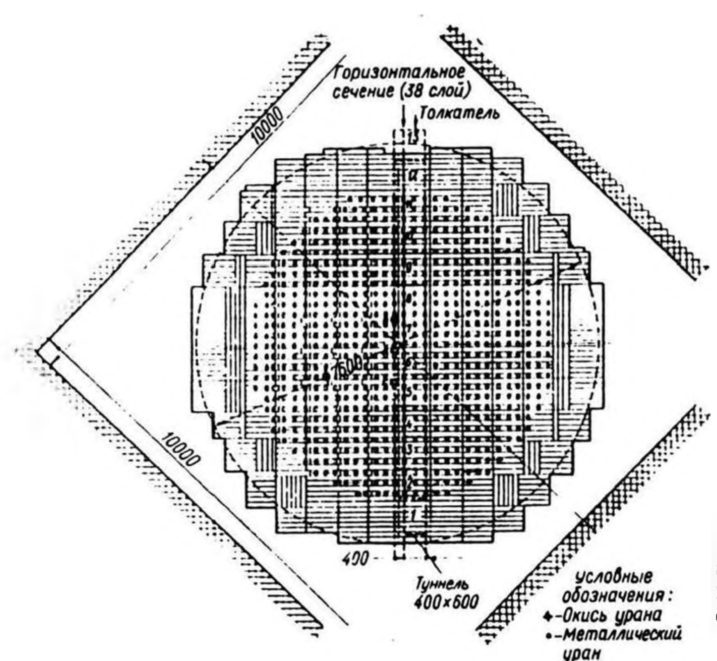


Рис. 11. Горизонтальный разрез физического реактора: 1—13 — вкладыши туннеля размером 40х40х60 см; А — регулирующий стержень; В, С — аварийные стержни СУЗ

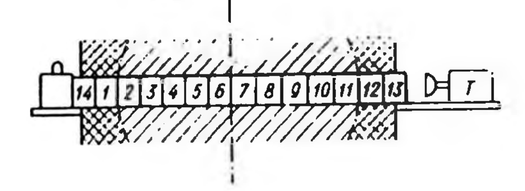


Рис. 14. Схема перемещения содержимого экспериментального туннеля реактора

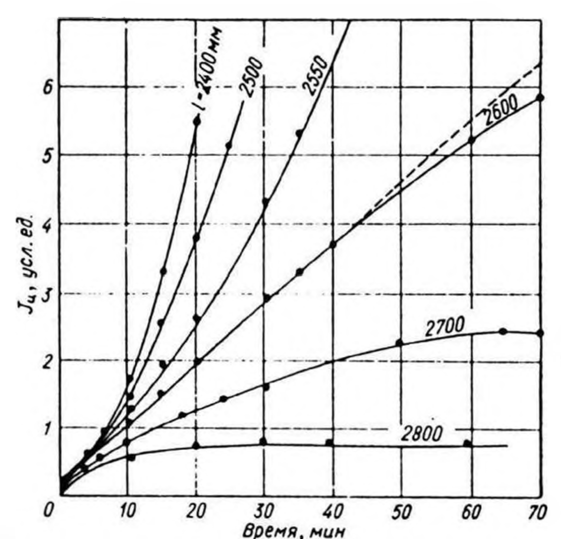


Рис. 12. Измерение плотности нейтронов в реакторе после сборки 62-го слоя. Цифры у кривых показывают глубину погружения регулирующего стержня в реактор

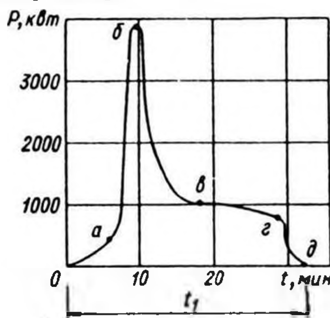


Рис. 13. Типичный график изменения мощности со временем при большом пуске реактора (стержни СУЗ полностью извлечены): *0аб* — быстрый подъем мощности после освобождения реактивности $2 \cdot 10^{-3}$; *б* — точка самокомпенсации реактора ($K_{эф} = 1$); *бв* — быстрый спад мощности за счет нагревания урана; *вг* — медленный спад за счет нагревания графита; *гд* — спад после сброса стержней СУЗ

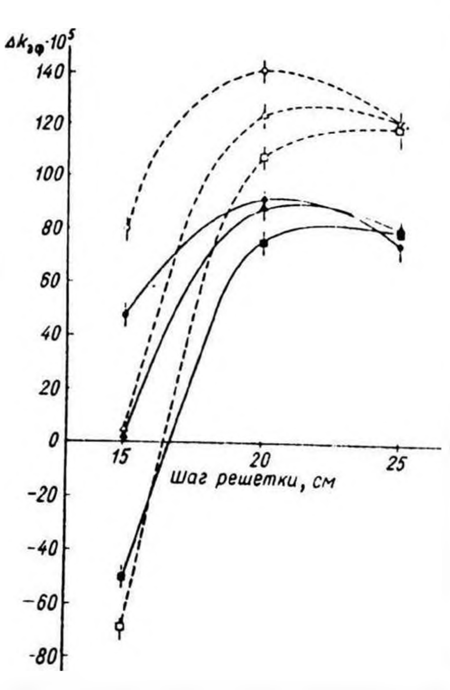


Рис. 15. Результаты измерений $\Delta K_{эф}$ при размещении различных стержневых уран-графитовых решеток в экспериментальном туннеле вблизи центра реактора:

○ Δ □ — с урановыми блочками диаметром 30, 35 и 40 мм в алюминиевой оболочке толщиной 1 мм;

● ▲ ■ — с теми же блочками в трубах из алюминиевого сплава и концентрическим слоем парафина толщиной 2 мм

"КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ" — ОБЪЕКТ И СУБЪЕКТ ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
(О работах по истории атомного проекта в РНЦ "КИ")

Н.Д. Бондарев, Ю.С. Нехорошев

Можно утверждать, и это не будет преувеличением, что место и роль "Курчатовского института" в истории отечественной науки и техники значительны и уникальны. Справедливости ради отметим, что то же можно сказать и о ряде других институтов, организаций и объектов отрасли, перечислять которые нет необходимости — это общеизвестно. Но все-таки именно здесь начиналось то, что сегодня мы называем советским атомным проектом. А след происходившего тогда — документ — ценнейший источник истины и нередко единственный свидетель, а то и судья. И в те первые годы он, документ, был только тут: здесь он рождался, сюда поступал или отсюда исходил. К счастью, многое сохранилось потому, что было надежно спрятано за семью печатями грифов строгой секретности и особой важности или конфиденциальности.

Сохранились в Институте не только бумажные, но и железные свидетели первых исследований, поисков, начальных результатов — установки, оборудование — бесценные объекты изучения для историков науки и техники. Не станем перечислять или приводить примеры, назовем только функционирующую до сих пор установку Ф-1, так называемую "монтажку" — живую легенду проекта, и этого будет достаточно, чтобы понять, какие раритеты и реликвии техники еще используются по прямому назначению. Наконец, в Институте трудятся люди разных возрастов, включая почтенный. Ветераны атомного проекта, часть из которых продолжает плодотворно работать как в стенах РНЦ, так и в других организациях, а некоторые дома — уважаемая когорта участников событий первого этапа работ, но они

же — и неиссякаемый родник воспоминаний, авторы книг, статей, отчетов, докладов и интервью по рассматриваемой проблеме, в том числе и на этом симпозиуме. Многие из ветеранов науки и техники стали, таким образом, еще и историками науки и техники, передающими свой опыт и знания более молодым коллегам, специалистам исторических исследований, число которых год от года прибывает. Обеспечивается преемственность, эстафета переходит в надежные руки.

Успешное становление и организация проведения исторических исследований в Институте были бы невозможны без поддержки руководством Центра, которое внимательно отнеслось к инициативам энтузиастов, к предложениям ветеранов. Поддержка эта особенно проявила себя вначале при решении непростых вопросов рассекречивания, затем при организации секции Ученого совета, общегородского семинара, была оказана помощь в выпуске книг на историческую тематику, в проведении специального исследования по гранту № 28 "Анализ, систематизация материалов и создание информационно-справочного аппарата архивного фонда РНЦ", в приобретении техники и, наконец, в подготовке симпозиума ИСАП-96. Большая часть собрания первичных документов сосредоточена в архиве, который с 1975 года существует как структурное подразделение Института. Он содержит крупный массив документации, из которого около 100 тысяч единиц хранения имеют различную степень секретности. В настоящее время, благодаря работе экспертных комиссий, постоянно и планомерно, а в ряде случаев в связи с заявками исследователей документы освобождаются от запретительных грифов — только в последние несколько лет рассекречено около 7 тысяч (примерно 90% фонда № 2 — Личный фонд И.В. Курчатова) документов. Историческая и научная ценность рассекреченного иллюстрировалась в публикациях изданий "Курчатовского института", ВИЕТ. Однако это не более чем начало выхода бывших секретных первоисточников к читателю, исследователю. Готовятся новые публикации из рассекреченного, определены к снятию грифа интересные документы, в том числе расчетные, авторами которых являются Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон, А.Д. Сахаров, И.Е. Тамм и др. Надеемся, эти документы будут доступны специалистам в ближайшее время.

Хронологические рамки хранящихся документов: 1943-1981 гг., хотя некоторые из них имеют и более ранние даты, например, машинописные и рукописные докладные записки Г.Н. Флерова И.В. Сталину и И.В. Курчатову датированы 1941-1942 гг.

Другим источником исторических свидетельств является находящийся на территории РНЦ Дом-музей Игоря Васильевича Курчатова — не только мемориал, но и подразделение Института, ведущее исторический поиск, исследования и популяризаторскую деятельность. Дирекция его "опекает", использует в пропагандистских и патриотических интересах, но нам хотелось бы обратить внимание на хранящуюся в нем коллекцию документов, научных

материалов, литературы и, условно говоря, экспонатов, заключающих в себе такие сведения об Институте, об ученом и его научной и организаторской деятельности, в первую очередь, по созданию ядерного оружия, которые имеются только здесь и потому обладают особой исторической значимостью.

Но архивом и музеем далеко не исчерпывается документальное "богатство" РНЦ "КИ". Практически в каждом институте РНЦ — Институте ядерных реакторов, Институте молекулярной физики и др. — имеются свои архивы, где наряду с научно-технической документацией и служебной перепиской хранятся воспоминания, скрытые до поры до времени от пытливых взоров непосвященных в тайны специальных разработок. Есть особое подразделение, где сосредоточено собрание кино- и видеоинформации — так называемая студия "Научная и техническая видеоинформация" (НТВидеоИнформация), ведущая съемки, запись и сбор сюжетов по всей тематике РНЦ, многие из которых уникальны и эксклюзивны. В отделе визуальной информации собран богатейший архив фотоматериалов и документов, сюда знают дорогу не только сотрудники Института, но и российские и даже зарубежные издатели, публикаторы, специалисты. Лаборатория информационно-аналитических исследований Центра, которая не первое десятилетие формирует фундаментальную базу данных по библиографии, ряду проблемных тематик, приступила в последние годы к комплектованию специализированного фонда исторических литературных источников — разделы библиотеки по истории создания ядерного оружия, атомного флота, к собранию аудио- и видеозаписей с воспоминаниями участников уранового проекта.

Наличие такого числа первичных носителей информации обусловило и интерес, проявляемый учеными к истокам, к истории, к поискам истины и аргументов, к закреплению и сохранению памяти и документов. Видимо, понятно, что этому интересу не суждено было реализоваться в годы существования закрытого общества. Только с конца 80-х и начала 90-х гг. стали приоткрываться архивы, появились публикации, инициировавшие разговор на недавно запретные темы, в их числе оказались и воспоминания разведчиков, рассказавших такое, что породило немало домыслов и спекуляций в средствах массовой информации. Привыкшие к секретности ученые не сразу подключились к дискуссиям, но и они стали рассказывать больше, чем было позволено раньше. Заметное увеличение количества информации было связано с подготовкой и проведением нескольких юбилейных мероприятий, связанных с 90-летиями И.В. Курчатова, А.П. Александрова, Ю.Б. Харитона, полувековыми юбилеями РНЦ "КИ" (Лаборатория № 2 была создана в 1943 году) и Минатома, были и другие круглые даты, предопределившие ряд интересных публикаций, выход книг как в Москве, так и в бывших закрытых городах. Считаем этапными в контексте этого разговора доклады И.Н. Головина и Ю.Б. Харитона — Ю.Н. Смирнова на юбилейной сессии Ученого совета РНЦ 12 января 1993 года, когда были сделаны достоянием общественности некоторые архивные материалы, раз-

веяны мифы, имевшие место в связи с решением советского атомного и водородного проектов. Исторические исследования из дела одиночек и энтузиастов стали заметным явлением в научной жизни Института; и именно это является сутью данного сообщения.

Очень кратко об организации работ и проделанном в последние годы: В 1993 году при Ученом совете РНЦ была создана секция по научно-историческим исследованиям и развитию архивного дела. Она стала формировать тематику научно-исторических исследований, осуществлять координацию и руководство работой экспертных комиссий, проводящих экспертизу ценности архивных документов и пересмотр грифа секретности, заслушивать и обсуждать сообщения о результатах проведенных работ, о намерениях публикаций. Кроме разработок по истории решения прикладных задач (а проблема создания атомной бомбы, конечно же, задача прикладная, как и проблема создания атомного флота, атомной энергетики, термоядерного синтеза и т.д.), секция намерена организовать исторические исследования с фундаментально-историческим уклоном, например, она озабочена отсутствием серьезных результатов в разработке темы истории Института как истории развития научных идей, эволюции научных направлений с примерами выхода на появление новых крупных коллективов (институтов, КБ), школ, на реализацию прикладных проектов.

В постановке вопрос прост и очевиден, в разработке же труднореализуем, о чем свидетельствуют неоднократные попытки и в РНЦ и в Минатоме. Труды пылятся на полках архивов и представляют собой не более чем фундаментальную фактуру, неспособную в таком виде удовлетворить интерес общественности к такого рода работам, который, отметим кстати, недостаточно возбужден и развит. Однако, определенные сложности такого рода не умаляют значения этого органа как авторитетного координатора, советчика и арбитра в работе, исполнителями которой являются в лучшем случае небольшие коллективы, а большей частью все-таки энтузиасты-одиночки. Правда, есть примеры и такой формы этой деятельности, которые способны объединить большие группы сотрудников. С сентября 1993 года в стенах РНЦ проводится общемосковский семинар по истории атомного проекта, к которому проявили интерес ученые, специалисты, историки науки и техники из многих институтов и организаций, так как был обсужден ряд действительно актуальных тем. Было проведено 20 заседаний, докладчиками выступали ветераны атомной науки и промышленности, профессионалы высокого уровня (И.Н. Головин, П.Е. Рубинин, В.И. Меркин, П.Г. Немеровский, Л.В. Альтшуллер, Е.М. Воинов, А.Г. Плоткин, В.Я. Френкель, Б.Л. Иоффе и др.).

Хотим обратить внимание на участие в семинаре иностранных докладчиков, в числе которых был и приглашенный на симпозиум американский исследователь проблемы, автор известной книги "Сталин и атомная бомба" и других — Д. Холлоуэй. Большой интерес у слушателей вызвал фильм о

К. Фуксе, привезенный, синхронно переведенный и прокомментированный специалистом из ФРГ К. Шпирингом. Эти примеры могут характеризовать семинар как выходящий за рамки российских границ.

Большая часть сообщений и дискуссий сохранена в магнитофонной записи и расшифрована. Издательская деятельность по исторической тематике особенно активизировалась в связи с упомянутыми выше юбилеями. С 1995 года осуществляется серийный выпуск книг "История атомного проекта", к сегодняшнему дню вышло из печати пять выпусков с воспоминаниями известных ученых И.Н. Головина и др., разведчика В.Б. Барковского, участников испытаний ядерного оружия. Готовится продолжение серии.

Перечисленные издания, как и обсуждения, и исторические исследования, конечно, не ограничиваются тематикой, связанной только с созданием атомной бомбы. Путь Института от Лаборатории № 2 и ЛИПАНа до РНЦ "КИ", история и судьба открытий и научного поиска, биографии и творческое наследие отечественных ученых, работавших в этих стенах или вышедших из коллектива ИАЭ (РНЦ) и раскрывших свой талант в его филиалах и подразделениях, ныне существующих как другие институты или научные центры — благодатный материал для историка науки. В этой сфере год от года оказывается все больше ученых, приходят новые люди, образуются подразделения с задачами по исторической тематике и со специалистами соответствующей профессиональной подготовки, разрабатываются и развиваются современные средства поиска, хранения и передачи информации. Надеемся, это поможет реализовать намерения и возможности в восстановлении правды, в воздании должного творцам, первопроходцам, энтузиастам и всем достойным, заслужившим добрую память от благодарных потомков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы юбилейной сессии Ученого совета Центра. 12 января 1993. — М.: 1993.
2. Материалы юбилейной сессии Ученого совета Центра. 13 февраля 1993. — М.: 1993.
3. Материалы юбилейной сессии Ученого совета Центра. 11-13 мая 1993. — М.: 1993.
4. Российский научный центр "Курчатовский институт". 50 (Ежегодный научный отчет РНЦ в год юбилея) в 3-х частях. — М.: 1993
5. **Н. Бондарев, А. Кеда, Н. Селезнева.** У истоков советского атомного проекта (Новые архивные материалы). — ВИЕТ, 1994, № 2, с.114-124
6. "Курчатовец". Газета Российского научного центра "Курчатовский институт". 1993-1996.
7. Серия "Курчатовский институт. История атомного проекта". — М.: 1995, 1996, вып.1-5.
8. Серия "Памяти А.П. Александрова". — М.: 1994, вып. 1-3; Сборник воспоминаний. — М.: 1996.

ДОКУМЕНТЫ ЛИЧНОГО ФОНДА АКАДЕМИКА И.В. КУРЧАТОВА ИЗ АРХИВНОГО И МУЗЕЙНОГО СОБРАНИЙ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ" КАК ИСТОРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ПО ИЗУЧЕНИЮ ИСТОРИИ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА. 1940—1950-е гг.

Р.В. Кузнецова, Н.В. Селезнева

Проблему "приручения" человеком ядерной энергии в XX веке можно справедливо отнести к одной из ключевых в истории общественного развития. История научных открытий в этой области естествознания и их практического освоения многолика и многогранна, таинственна, порою невероятна, драматична и загадочна.

Сто лет восхождения от случайного открытия Беккереля к вершинам покорения могучих сил природы, затаившихся в атомном ядре и освобожденных в первой половине XX столетия, ознаменовались фантастическим взлетом научно-технического прогресса, принесшего свет и тепло в жилища людей и, вместе с тем, горе и отчаяние.

Проблема практического освоения человечеством ядерной энергии и, в частности, создания в мире ядерного оружия, все еще остается вне открытого обсуждения из-за чрезвычайной секретности, окружавшей ее с самого начала. Однако в 80-90-е годы стали появляться исторические исследования, документально освещающие развитие событий в Манхеттенском проекте, Хайгерлохе и даже в советском атомном проекте.

Однако документальная база по истории советского атомного проекта еще невелика. Но в последние годы появилась надежда на скорое получение исследователями подлинных документов по проблеме, благодаря работе по рассекречиванию документов архивных фондов федеральных центров, в той или иной мере участвовавших в прошлом в атомном проекте. Следовательно, расширится и станет более разнообразной источниковая база для исторических исследований по данной проблеме.

Исторически сложилась оправданная характером работ по проблеме система, когда возможность использования архивных документов Курчатовского института определял Государственный комитет по использованию атомной энергии. Даже сам Курчатов, явившийся первым "публикатором" ряда документов в середине 50-х гг., получал специальное разрешение Правительства и Комитета на рассекречивание и представление трудов ученых его института на Женевские конференции 1955 и 1958 гг. Именно так рассекречивал Курчатов свои лекции, с которыми выступал в 1956 г. в Великобритании, предварительно убедив в этой необходимости Н.С. Хрущева. Именно эти доклады и лекции положили начало использованию архивных документов Института атомной энергии.

Использование архивных документов было продолжено в 60-е гг. после смерти Курчатова, когда интерес общественности к его личности и к его делам сильно возрос в связи с впервые обнародованными и буквально ошеломившими всех фактами из истории жизни и деятельности известного до начала Великой Отечественной войны ученого, о котором с 1943 г. и до 1956 г. никто тем не менее ничего не знал. Вышли первые публикации о нем, подготовленные его братом Б.В. Курчатовым, журналистом Е.Н. Рябчиковым, писателем П.Т. Асташенковым, ученым-физиком профессором И.Н. Головиным. В 70-80-е гг. документы использовались весьма скромно и преимущественно в связи с юбилеями И.В. Курчатова, его института, пуска первого физического и промышленного реакторов и осуществления цепной ядерной реакции на реакторе Ф-1. Устраивались выставки к юбилейным "Курчатовским советам".

В первой половине 70-х гг. была предпринята попытка подготовить обзоры по истории становления и развития отраслевых предприятий, работ по атомной науке и промышленности. В институте была разработана программа по созданию документальной истории. На основе документов архива предполагалось собрать документальный материал, объективно отражающий историю научной и прикладной деятельности института со дня его основания, для дальнейшего написания истории. Однако попытка не имела успеха. Было написано всего три отчета-обзора, при работе над которыми их автор В.В. Гончаров (в прошлом — помощник Курчатова по Лаборатории-2) пользовался всеми документами архива института, привлекая также документы научной деятельности Курчатова за 1944-1960-е гг. В архиве также впервые была составлена историческая справка. Отдельные

документы архива в это время использовались при написании двух монографий, одной диссертации, 15 публикаций в центральной печати и 16 — в научно-популярных и научных журналах. По истории "урановой проблемы" из-за засекреченности архивных источников информации первые и пока еще единичные труды стали появляться в начале 90-х гг. Среди них: монографии А.И. Иойрыша и А.К. Круглова.

В настоящее время впервые в научный оборот вводятся документы из архивного и музейного собраний фондообразователя — Лаборатории-2 Академии наук СССР (ныне Российского научного центра "Курчатовский институт"), осуществлявшей главное научное руководство атомным проектом. Естественно, что они отложились в результате документирования научной, производственной и организационной деятельности. История создания, структура и род деятельности Лаборатории-2 нашли в них свое отражение, как и история жизни, научной, организационной и общественной деятельности ее начальника, главного научного руководителя работ по "урановой проблеме", академика И.В. Курчатова. В связи с этим нельзя не вспомнить как начинался "Курчатовский институт".

В апреле 1942 г. в Государственный Комитет Обороны поступили сведения, что в Германии и в США в обстановке чрезвычайной секретности ведутся работы по созданию атомного оружия. К лету 1942 г. они были проверены и подтвердились. Теперь известно, что в конце 1941 и в апреле 1942 гг. Георгий Флеров, ученик Курчатова, обратился с предложением (будучи в армии) к своему учителю и к Сталину возобновить работы по созданию урановой бомбы и высказал в письмах свои догадки, что ученые за границей — в Германии и Америке — работают в этом направлении.

Летом 1942 г. ГКО получил от ученых подтверждение о возможности и необходимости решения этой задачи в СССР. Свою уверенность они высказали несмотря на разгар войны, когда все ядерные лаборатории в Москве и Ленинграде были закрыты или заняты немцами (как в Харькове), промышленность сильно пострадала, физики воевали, а враг был очень силен.

В сентябре 1942 г. Курчатов был вызван в Москву, представлен правительству и по его заданию в октябре-ноябре подготовил записку о начале работ по "урановой проблеме". Второго декабря, возвращаясь к жене в Казань, он еще не ведал, что в этот день великий итальянец Энрико Ферми впервые в мире осуществил цепную ядерную реакцию деления урана в реакторе, построенном им в США, открыв тем самым путь к созданию атомной бомбы.

18 января 1943 г. Курчатов вновь, и теперь уже окончательно, был отозван из Казани в Москву. 11 февраля 1943 г. ГКО принял специальное решение об организации научно-исследовательских работ по использованию атомной энергии. М. Первухин вспоминал, что "...Сталин придавал большое значение атомной проблеме".

Работам придавалось в первую очередь военно-стратегическое значение, и основной задачей было изготовление ядерного оружия. Научное руководство всеми работами возлагалось на тридцатидевятилетнего профессора ЛФТИ Курчатова. Ему поручили подготовить записку о возможности и сроках создания атомной бомбы.

Сам Курчатов так оценивал обстановку начального периода: "...Мы начали работу по практическому использованию атомной энергии в тяжелые дни Великой Отечественной войны, когда разрушались и горели наши города и села, когда не было никого, кто не испытал бы чувства глубокой скорби из-за гибели близких и дорогих людей. Мы были одни. Наши союзники в борьбе с фашизмом — англичане и американцы, которые в то время были впереди нас..., вели свои работы в строжайше секретных условиях, и ничем нам не помогли".

10 марта 1943 г., согласно Распоряжению 122 Правительства, И.В. Курчатов был назначен начальником (директором) Лаборатории-2 АН СССР.

12 апреля 1943 г., согласно Распоряжению 121 по АН СССР, изданному во исполнение постановления ГКО, была организована в системе АН СССР Лаборатория-2.

5 февраля 1944 г., согласно Распоряжению 132 по АН СССР, Лаборатории-2 предоставлялись права академического института. До этого времени Курчатову выдавалась доверенность АН СССР на самостоятельность института и он уполномочивался руководить Лабораторией-2 в административном, хозяйственном и финансовом отношениях.

Весной 1943 г. сотрудники Лаборатории-2 впервые были отмечены благодарностью и премиями своего директора за доставку из Ленинграда в Москву узлов циклотрона ЛФТИ, благодаря чему уже в 1944 г. был пущен первый московский циклотрон.

29 сентября 1943 г. Курчатова избирают в действительные члены АН СССР.

Число первых "курчатовцев" к концу лета 1943 г. не превышало и двадцати человек. Первый план работы Лаборатории-2 ГКО утвердил в 1943 г. Сооружение опытного уран-графитового реактора являлось одной из его главных задач. В целом же целью работ было "создание промышленной технологии извлечения урана из руд различного характера, изготовление чистейшего металлического урана, специальных алюминиевых сплавов, строительство в Москве крупного циклотрона, создание всякого рода измерительной техники, экспериментального ядерного реактора, получение микроколичеств плутония и изучение его свойств, разработка идей промышленных реакторов для получения плутония, радиохимических заводов для его выделения, создание технологии разделения изотопов урана, получение графита сверхвысокой чистоты и др...".

Считая уран-графитовую систему наиболее надежным способом решения главной задачи, Курчатов начал подготовку к сооружению уран-графитового

реактора. 25 сентября 1944 г. на циклотроне впервые вывели пучок дейтонов. Недовольный темпами работ, Курчатов 29 сентября 1944 г. отправляет записку Берии о необходимости их ускорения. В мае 1945 г. вместе с М. Первухиным он обращается с запиской к Сталину, в которой указывается на необходимость введения чрезвычайных мер для форсирования НИР и ОКР по созданию предприятий атомной промышленности. Такие меры были приняты осенью 1945 г.

При Совнаркоме СССР был создан Спецкомитет во главе с Л.П. Берией, которому подчинили тогда же созданный во главе с Б.Л. Ванниковым (бывшим министром вооружения) исполнительный орган — Первое Главное управление (ПГУ). В ПГУ организовали Технический совет во главе с председателем Ванниковым и тремя его заместителями: М.Г. Первухиным, А.П. Завенягиным и И.В. Курчатовым. В его состав вошли подчиненные ПГУ министры и возглавлявшие направления работ крупнейшие ученые, а также руководители созданных позже КБ и заводов атомной промышленности.

Курчатову были предоставлены права министра. Теперь согласно "Табелю о рангах" он мог непосредственно обращаться в самые высшие государственные инстанции. В распоряжение Лаборатории-2 была предоставлена специальная (собственная) строительная организация.

В конце 1945 г. в связи с увеличением исследовательской части работ и невозможностью их осуществления на одной площадке из Лаборатории-2 была выделена Лаборатория-3 (Институт экспериментальной и теоретической физики) под руководством академика А.И. Алиханова. Ее задачей стало создание тяжеловодного реактора. Для проведения опытно-конструкторских проектных работ и изготовления первых экземпляров атомных бомб в 1946 г. было создано КБ-11 (Арзамас-16) под руководством Ю.Б. Харитона.

Сразу же после пуска реактора Ф-1 Курчатов утвердил проект промышленного реактора "А", который в июне 1948 г. был пущен им же на Южном Урале в Кыштыме — Кыштымский плутониевый завод (База-10). На Среднем Урале в районе Верх-Нейвинска построили диффузионный завод (База-5) для разделения изотопов по методу И.К. Кикоина. В 1949 г. завод стал выдавать обогащенный уран. В районе Верхней Туры на Северном Урале соорудили электромагнитный завод (База-9) по разделению изотопов урана по методу Л.А. Арцимовича. Из накопленного плутония А.А. Бочвар с сотрудниками на заводе "В" (База-10) сделали первый плутониевый заряд в виде двух полушарий и покрыли его никелем, чтобы защитить сборщиков от токсичного плутония, а металл — от окисления. Эта операция выполнялась по технологии А.И. Шальникова и А.П. Александрова. Крайне опасный и ответственный эксперимент, подтвердивший, что масса полного заряда при сложенных двух полушариях на расчетную малую величину меньше критической, осуществили Г.Н. Флеров и Ю.С. Замятнин. 29 августа 1949 г. на Семипалатинском полигоне был произведен первый в СССР взрыв атомной бомбы, а 12 августа 1953 г. — взрыв первой в мире термоядерной бомбы.

Многие события из истории "урановой проблемы" имеют прямое отношение к истории Курчатовского института и к историии жизни и деятельности академика И.В. Курчатова. Они отражены в документальных материалах архива и музея его института. Необходимо поэтому кратко изложить историю фонда. Задачи, стоявшие перед Лабораторией № 2 в период решения "урановой проблемы", определили и особую структуру этого научного учреждения. Архив как структурное подразделение (архивное отделение) появился лишь в июне 1949 г. Раньше документы по организационно-распорядительной и научно-технической деятельности, в том числе законченные в текущем делопроизводстве, скапливались в структурных подразделениях, главным образом в спецотделе, секретариате и в научно-технической библиотеке. До 1955 г. фондированием и научно-технической обработкой документов в институте не занимались, поскольку указанные подразделения выполняли свойственные им функции, а также из-за отсутствия необходимых для этих целей помещений и специалистов.

Архивное отделение работало по утвержденной Курчатовым и составленной на основе требований правительства и Архива АН СССР Инструкции и в соответствии с Перечнем типовых документальных материалов, образующихся в деятельности наркоматов и других учреждений, организаций и предприятий Союза СССР, ГАУ МВД СССР.

Современники Курчатова вспоминают, что основатель института понимал важность значения документов для развития науки, различных отраслей народного хозяйства, большую ценность для истории, как отражающих развитие научно-технической мысли. Поэтому в 50-е гг. в институте принимаются меры для улучшения организации архивной деятельности. Эти годы были временем становления архива Института, находившегося в методическом подчинении Архиву АН СССР, а в прямом — архиву ведомства. С 1955 г. началось комплектование, фондирование, описание и научно-техническая обработка архивных документов в подразделениях. В 1957 г. создается Центральная экспертная комиссия и комиссии в крупных научных подразделениях. В развитие Постановления СМ СССР 914 от 13 августа 1958 г. все документальные материалы, отложившиеся в результате деятельности института и имевшие практическое, научное, политическое и историческое значение, объявлялись составной частью Государственного архивного фонда СССР.

В 1959 г. в институте создается единый архив. Это упорядочило архивную работу в целом, документы стали систематически собираться в одном месте, началась работа по переводу архивных материалов института на фондовую систему. Центральный архив стал систематизировать документы, проводить научно-техническую обработку и создавать на них научно-справочный аппарат. В 1960 г. после смерти Курчатова началось фондирование документов личного происхождения ученого — комплектование его личного фонда. Из фонда основной деятельности стали выявляться документы, отражавшие его

научную деятельность. Вместе с тем в архив поступили документы из сейфов рабочего и домашнего кабинетов Курчатова, из ряда организаций, с которым была связана его научная деятельность. К 1974 г. был создан фонд под номером 2 в количестве 635 единиц хранения и с названием "Личный фонд академика И.В. Курчатова". Были проведены экспертиза и научно-техническая обработка вошедших в него документов, их описание, составлена схема их систематизации. Временные рамки фонда установлены периодом 1925-1974 гг.

В 1981 г. на базе архивного отделения был создан отдел фондов. Такое название архив носит сегодня. Согласно положению, документы ведущих ученых института подлежат здесь комплектованию в самостоятельные фонды и коллекции. В настоящее время в архиве РНЦ "Курчатовский институт" хранятся: документы по основной деятельности всего института — (фонд-1), личный фонд академика И.В. Курчатова — (фонд-2) и коллекция академика И.К. Кикоина. Хронологические рамки документов охватывают период 1943-1981 гг. Большая часть документов (около 100 тысяч единиц хранения) имеет различную степень секретности. Дела систематизированы по годам, внутри года — по структурным подразделениям. Ежегодно архив пополняется за счет документов подразделений.

К сожалению, систематизация документов несовершенна. Их поиск и отбор по смысловым категориям затруднен из-за разбросанности тематически близких документов по единицам хранения, которые заводились и комплектовались по формальным признакам документооборота. Наложила свой отпечаток и действовавшая в 1943-1947 гг. в Лаборатории-2 журнальная система учета секретных документов, не отражавшая сути того, с чем работал Курчатов. Часть важных правительственных документов Курчатов смотрел непосредственно в правительственных учреждениях. Неполнота архивного фонда первых лет работы Лаборатории-2 (например, в нем нет распоряжения об ее образовании) объясняется тем, что архивные функции велись в те годы настолько непрофессионально, что частичное уничтожение секретных документов (до 1947 г.) проводилось даже без составления актов. Секретный (Первый) отдел был образован не одновременно с организацией Лаборатории-2. Только в 1949 г. было создано спецхранилище секретных документов при Первом отделе. Образование же секретного архива относится к 1950-1952 гг.

В фонде-1 представлены организационно-распорядительные документы по основной деятельности Лаборатории: распоряжения, приказы, указания, протоколы, планы, отчеты, переписка и т.д.; документы по учету личного состава сотрудников института, их личные дела; научно-исследовательские документы (отчеты по НИР), диссертации, изобретения и рацпредложения; учетные документы. Тематический спектр документов по научным направлениям деятельности широк: это и создание атомного оружия, и атомные электростанции, и ядерно-энергетические установки для военно-морского

флота и космоса, и управляемый термоядерный синтез, и физика атомного ядра, и сверхпроводимость, и информатика, и др.

Работа по рассекречиванию документов была начата в 1993 г. В первую очередь экспертизе подлежали около шести тысяч ценнейших документов фонда-2, основная часть которых отложилась многолетним накоплением в личном сейфе рабочего кабинета Курчатова. Большинство их принадлежало к "Особой папке" — (ОП), что означало высшую степень секретности документов того времени, когда решалась "урановая проблема". Долгие годы они оставались недоступными для исследователей из-за несовершенства законодательства по рассекречиванию архивных источников.

Часть документов фонда-2 исторически отложилась в жилом доме Курчатова на территории института. Она хранится там и поныне под названием "музейное собрание", которое представляет собой личный архив ученого и его семьи, обнаруженный в 1983-1984 гг. при инвентаризации имущественных и музейных ценностей во время реставрации помещений дома. В его составе несколько тысяч единиц хранения письменных, фото-, фоно- и кинодокументов. В совокупности их содержание отражает все периоды научной, государственной и общественной деятельности руководителя "урановой проблемы", бытовые и семейные стороны его жизни, его интересы, взаимоотношения с людьми и пр.

Хронологически этот комплекс документов охватывает большой период времени — со второй половины XIX века и до конца 80-х годов нынешнего. Документы несут на себе профессиональный отпечаток. Они глубоко индивидуальны. Перед исследователем — архив ученого-физика и в то же время — это архив государственного и общественного деятеля. Среди собраний, вокруг которых складывался личный архив, следующие: личные документы фондообразователя и его родных, документы научной и организаторской деятельности довоенного и послевоенного периодов его работы, в том числе по проблемам физики атомного ядра и "урановой проблеме", физике моря и физике твердого тела (диэлектрики и полупроводники), о работе в Президиуме Академии наук СССР, Комитете по Ленинским и Государственным премиям, на посту директора Лаборатории 2 (ЛИПАН СССР, Институт атомной энергии). Вызывают интерес документы об участии ученого в работе Верховного Совета СССР, Всемирного Совета Защиты Мира, в Советской атомной подкомиссии ООН. Сохранился обширный отдел переписки — служебной, депутатской и личной. Чрезвычайно интересен и разнообразен фотоархив собрания.

По видам документы представлены научными работами: статьями, докладами, рукописями опубликованных и неопубликованных трудов, записками по разным проблемам развития науки и областям, которыми занимался и интересовался Курчатов. Блокноты, записные книжки, деловые заметки на календарях и в рабочих тетрадях-дневниках проливают свет на его жизнь, "кипучий" курчатовский характер и стиль деятельности, свидетельствуют об

организации, методологии, технике проведения и результатах работ, их организации и проведении, о связях со многими научными учреждениями и лицами. Свыше тысячи единиц хранения составляет эпистолярное наследие — это письма к Курчатову служебного и личного характера, в том числе от зарубежных корреспондентов. В сохранившихся текстах речей и выступлений запечатлен образ большого ученого-гуманиста и человека, искренне обеспокоенного проблемами безопасной жизни человеческой цивилизации и призывавшего правительства и народы мира к запрещению и полному уничтожению ядерного оружия, к использованию ядерной энергии исключительно для созидательной, полезной деятельности.

Интересна история музейного собрания, начало которому положил еще отец Курчатова, собиравший документы своей семьи, хранивший их в разные времена, которые пережила Россия и которые пережила курчатовская семья: три революции, гражданскую войну, высылку за неблагонадежность из Крыма в двадцатые годы, созидательное десятилетие мирной жизни в Ленинграде до начала Великой Отечественной войны. Блокадные осень и зиму 1941-1942 гг. родители, увы, не пережили... Но эта трагическая страница из жизни семьи требует отдельного рассказа. Архив в конце концов был переправлен в Москву в дом Курчатова. В разные годы он продолжал пополняться документами из различных источников хозяевами, их родственниками, а затем и сотрудниками музея.

С 1970 по 1994 гг. в музее была собрана уникальная коллекция фотографий и кинохроники, как профессиональной, так и любительской, но тем не менее обладающей не меньшей ценностью, запечатлевшая жизнь и деятельность Курчатова в различной обстановке и окружении с 1949 по 1960 гг. С 1983 г. музейное собрание постоянно пополняется документами за счет вновь выявленных источников комплектования. За последнее десятилетие собрано свыше сотни воспоминаний, записанных на бумажных и магнитных носителях, в том числе на видеопленке, рассказанных соратниками Курчатова, участниками работ по "урановой проблеме". Наибольший интерес из них представляют воспоминания выдающихся ученых и инженеров-атомщиков: Г.Н. Флерова, А.П. Александрова, В.И. Меркина, Ю.Б. Харитона, Я.Б. Зельдовича, Б.В. Курчатова, З.В. Ершовой, В.В. Гончарова, И.Н. Головина и др., организаторов атомной отрасли, например, бывшего 30 лет министром среднего машиностроения Е.П. Славского, известных теперь "охотников за секретами" Л.Р. Квасникова и В.Б. Барковского, простых рабочих, лаборантов, медиков и других, кто кружился в вихре курчатовских дел. В видеоблоке собрания скомплектовано 350 кассет с записями выступавших, теперь уже ставших историческими, лиц на юбилейных собраниях и встречах, "Курчатовских" Ученых советах. Имеются уникальные записи посещений института выдающимися учеными мира, например, посещение Э. Теллером Дома-музея Курчатова в 1992 г., и другие. В видеоблоке укомплектовано 350 кассет с записями на историческую тему. Если хроника,

видеоматериалы и фотографии сохранили образы людей, то фонозаписи — их голоса, что также представляет определенный интерес для исследователя.

Всего в музейном собрании укомплектовано 6400 письменных документов, из которых сформировано 2300 единиц хранения, 10275 негативов фотографий, свыше 7000 фотографий, сотни кадров кинохроники, около 60 часов фонозаписей, 7 видеокассет документальных фильмов, созданных с использованием архивных источников.

Общее число документов архивного и музейного собраний в Личном фонде академика Курчатова в настоящее время приближается к 25000 единиц хранения. В совокупности они представляют большой исторический интерес и составляют ценную документальную базу, поскольку в них запечатлен исторический опыт развития науки, события в ядерной физике, в атомной науке и технике, происходившие в 30-50-е гг. XX столетия. Они отражают творческую и личную жизнь выдающегося ученого и организатора — первопроходца своего времени и вместе с тем — опыт освоения людьми нового способа жизни через покорение вновь открытых законов природы, высот в науке и технике на очередном круге развития человеческого общества. Они отражают также историю Советского Союза, государства Российского в один из неповторимых и "канувших в Лету" периодов его жизни — советский период.

Документы систематизированы, описаны на карточках, сформированы в единицы хранения. В делах — расположены с учетом взаимной связи и в хронологической последовательности. В процессе систематизации в самостоятельные группы выделены коллекции личных документов выдающихся ученых — сподвижников Курчатова, в том числе Б.В. Курчатова — брата И.В. (1905-1972 гг.), одного из основоположников отечественной радиохимии, доктора химических наук, профессора; Кикоина Исаака Кушелевича (1908-1984 гг.), академика, физика, дважды Героя Социалистического Труда; Александрова Анатолия Петровича (1903-1994 гг.), академика, физика, трижды Героя Социалистического Труда; Славского Ефима Павловича (1898-1993 гг.), трижды Героя Социалистического Труда, 30 лет возглавлявшего Министерство среднего машиностроения (бывшее Первое Главное Управление) и др.

Работа по оценке содержания архивных документальных материалов, их систематизации и описанию, а также по рассекречиванию (около 90%) позволяет представить качественный состав фонда, документы которого разделены на группы: творческие, в числе которых — научные труды, отчеты, доклады, рабочие записи, черновые наброски (рукописи); документы научной и служебной деятельности (планы, отчеты, протоколы технических совещаний), переписка с Совнаркомом и Советом Министров СССР (1944-1952 гг.), с АН СССР (1942-1946 гг.); переписка сотрудников Центра и других учреждений (1943-1954 гг.); материалы разных лиц и учреждений, присланные Курчатову. Эти документы Личного фонда академика И.В. Кур-

чатова — фонда-2 в целом дают картину осуществления атомного проекта, полнокровного и динамичного взаимодействия научных и государственных структур в решении сложнейших задач, отражают роль Курчатова и многих других ученых и государственных деятелей.

Однако было бы неверным представлять это собрание как единственный источник документальных материалов по истории атомного проекта в СССР (хотя, безусловно, часть из них существует только здесь и только в одном экземпляре). Над созданием атомного оружия работали многие организации и предприятия страны — атомный проект явился результатом трудов многих разных организаций. Тем не менее, Курчатовский институт, как головная научная организация по руководству проблемой, в целом сосредоточил в своем архиве в едином комплексе документы по начальному этапу разработки и осуществления атомного проекта, позволяющие увидеть главенствующую и ведущую роль академика Курчатова во всем проекте и оценить его выдающееся значение в этом грандиозном деле.

Значительное место занимает переписка с вышестоящими организациями (ПГУ, Спецкомитетом) по вопросам "Урановые котлы" и "Специзделие". Гриф секретности документов — от "Секретно" до "Особой важности". Имеются и дополнительные отметки об ограничении в допуске и ознакомлении ("Лично" или "Вскрыть только в присутствии Курчатова"). Некоторые документы исполнены от руки в одном экземпляре. Среди авторов — члены правительства, министры, ученые, выдающиеся инженеры и т.д. Распоряжения, планы, программы и справки о ходе работ являются для исследователя чрезвычайно интересными источниками по истории советского атомного проекта. Например, в них содержатся сведения по существу решений, их финансовому и материальному обеспечению, о заграничных работах, предложения по организации в других институтах необходимых для проекта исследований, информация о строительстве объектов. К этому ряду относятся: справки в адрес Берии о выпуске плутония от 9 апреля и 12 декабря 1949 г.; расчет критических масс, выполненный И.И. Гуревичем (РИАН), Я.Б. Зельдовичем и Ю.Б. Харитоном (ИХФАН); отчет И.Н. Головина (Лаборатория-2) о командировке в Вену 13 апреля — 10 мая 1945 г.: "Проблема урана в Германии за годы войны". (Здесь уместно привести в качестве примера и письма 1945 г. из Германии к И.В. Курчатову от ученых, направленных туда с известной целью. Среди авторов — Г.Н. Флеров, М.И. Певзнер и др.) Письмо от Берии к Ванникову, Курчатову и Первухину содержит сведения по результатам исследований взрывов атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки. Сохранились записи Г.Н. Флерова "Рассуждения о получении энергии и бомб", Ю.Б. Харитона и Я.Б. Зельдовича "Об использовании урана с 75% изотопа-235".

"Чисто оружейных" документов — по конструкции и технологическим особенностям атомной бомбы в архиве немного — около двух десятков, хотя здесь отложились и документы по деятельности "Арзамаса-16". Важ-

нейшими источниками по проблеме являются, безусловно, рукописи самого И.В. Курчатова — от рабочих записок и черновиков статей до заметок мемуарного характера. Среди творческих документов — исполненные иногда карандашом и скорописью и прочитываемые с трудом, рукописи статей, отчетов, докладных записок. Здесь же и его автографы документов в высшие инстанции, написанные четко и аккуратно и, по соображениям секретности, в единственном экземпляре. Текст лаконичен, изложение ясное и краткое.

Среди них — записки "О получении тяжелой воды и металлического урана" (1943, 1946 гг.); докладная записка на 12 листах по плану решения проблемы, в которой он пишет о возможностях получения урана-235, плутония и урана-233, об использовании их в атомной технике; о начале строительства диффузионного завода на Урале; о разработке электромагнитного способа получения урана-235 и других способах, в том числе в Институте физических проблем (ИФП) у А.П. Александрова, в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ) у А.Ф. Иоффе, в Институте "А" Министерства внутренних дел (МВД) профессором Стейнбеком, в Институте физической химии (ИФХ), Радиевом институте Академии наук (РИАНе), в Лаборатории-4 Первого Главного Управления (ПГУ) и Институте "Г" Министерства внутренних дел (МВД).

Сохранились отчеты по первым поисковым нейтронным исследованиям графита (1944 г.), физическим константам урана (1945, 1950 гг.), по разработке первых приборов контроля нейтронов (1946 г.), вахтенные журналы первого физического реактора за 1943-1954 гг. и указания по работе на Ф-1, по исследованию эффектов в реакторе Ф-1 (1947 г.), по результатам больших и дистанционных пусков Ф-1 (1947-1950 гг.), по испытанию урана в Ф-1, по делению в нем тяжелых элементов и др.

Чрезвычайный интерес вызывают: "Тезисы доклада о состоянии работ по проблеме" (1947 г.), тезисы к встрече со Сталиным (не позднее апреля 1945 г.), доклад Сталину от 12 февраля 1946 г., содержащий план работ по проблеме на 1946-1947 гг., с именами ученых, без которых они не могут быть начаты. Интересны также рукописные записки Курчатова о Сталине, написанные "по горячим следам" после встречи с ним 25 января 1946 г., его докладные записки, замечания и черновики за 1944-1950 гг. в Совет Народных Комиссаров (СНК) о создании атомной бомбы с описанием условий на техническую разработку и проектирование экспериментальных систем.

Для изучения истории проблемы необходимы также и документы, касающиеся организации "человеческих", социальных сторон жизни ее участников и членов их семей. Среди них, например, анкета на ведущего специалиста, в которой указаны установленные ему льготы, — свидетельство заботы и внимания со стороны государства. В письме референта Берии В.А. Махнева к И.В. Курчатову от 9 мая 1950 г. говорится об организации специального медицинского обслуживания на предприятиях Первого Глав-

ного Управления для работников отрасли, подвергшихся радиационному облучению. Лечение ведущих специалистов контролировалось лично Берией, поэтому ряд писем по этому вопросу содержит его конкретные резолюции. Определенные льготы (такие, как предоставление возможности поступления без экзаменов в высшие учебные заведения детям участников работ, ставших Героями Социалистического Труда, лауреатами Сталинской премии, или установление бесплатного пожизненного проезда на всех видах городского транспорта и т.д.), введенные правительством, нашли свое отражение в постановлениях и личных документах, хранящихся в архивных коллекциях.

К важным историческим источникам следует отнести документальные материалы, отражающие личное авторство ведущего ученого в той или иной части возникавшей по проекту проблемы. Характерно, что авторство, как правило, принадлежит выдающимся физикам — экспериментаторам или теоретикам, чей вклад в общее дело неоспоримо велик, и об этом свидетельствуют документы. Так, в докладной записке А.П. Александрова к Л.П. Берии изложены направления работ, ведущихся в ИФП по проекту, в том числе по разделению изотопов термодиффузией, по выделению тяжелого изотопа водорода из жидкого водорода. А в записке Л.Д. Ландау по теории процессов развития реакции в критической массе, составленной совместно с Лабораторией-2 и Институтом химической физики АН СССР, видна роль Л.Д. Ландау в решении атомной проблемы. В ней говорится, что он осуществляет руководство всей теоретической частью работы по указанному направлению, что в марте 1947 г. Ландау закончил теорию котлов и начал работу по развитию реакции в критической массе. Упомянут теоретический семинар в Лаборатории-2, который опять же ведет Ландау.

По-новому на начало атомного проекта (а также на личность самого автора) заставляют взглянуть письма Г.Н. Флерова Курчатову и Сталину (ноябрь-декабрь 1941 г. и апрель 1942 г.). Факт этого обращения из армии (кстати, обыкновенной почтой по воюющей стране) тогда двадцативосьмилетнего техника-лейтенанта 2-й статьи и физика, ученика-аспиранта Курчатова до войны — это не только факт и поступок из биографии будущего академика, ставший достоянием истории. Эти письма, сохранившиеся в музейном и архивном собраниях, заслуживают более пристального изучения, поскольку побуждают в интересах истины переосмыслить события далекого прошлого.

В этой связи, возможно, вызывает определенный интерес и обращение Курчатова в Комитет по Сталинским премиям в связи с обсуждением там работы Флерова и Петржака, выполненной еще до войны в его физтеховской лаборатории в Ленинграде в 1940 г. и приведшей к открытию спонтанного деления ядра урана. Курчатов пишет: "Открытие Флерова и Петржака имеет громадное значение для вопроса об осуществлении урановой бомбы и именно в этом лежит причина того, почему в Англии и Америке эти работы не получили никакого отклика... В связи с данными Флерова и Петржака

был разработан новый прием осуществления бомбы, заключающийся в быстром сближении двух масс урана, сумма которых равна критической взрывной массе".

Ряд документов позволяет прояснить место и роль иностранных специалистов в атомном проекте (в частности, немецких физиков М. Штеенбека и М. Арденне по привлечению их к работе по электромагнитному разделению изотопов). Сохранились докладная записка Л.А. Арцимовича, предлагающего использовать этих ученых, письмо А.Ф. Иоффе к Берии от 16 апреля 1947 г. с просьбой откомандировать их в ЛФТИ, записка министра внутренних дел о возможности печататься немецким физикам под псевдонимами, переадресованная Курчатову с резолюцией Берии: "Ваше мнение?". Заметим, кстати, что изучение резолюций Берии, несомненно, представляет чрезвычайный исторический интерес, так как они содержат разнообразные практические решения и указания по проблеме. По той же причине необходимым и полезным для исследователей было бы изучение резолюций всех других высших руководителей атомного проекта и ведущих ученых.

Немало исторических сведений по научному, организационно-техническому, инженерному, финансовому, строительному и другому обеспечению своевременного и качественного решения проблемы содержится в распоряжениях и приказах руководства Лаборатории-2, Лаборатории измерительных приборов по основной деятельности за 1943-1950 гг., в годовых финансовых отчетах за 1943-1944 гг., в протоколах Ученого совета и материалах к ним, в документальных материалах по капстроительству. Последние, как и чертежно-техническая, и проектная документации на объекты Лаборатории интересны еще и с той точки зрения, что их можно еще и сегодня видеть как памятники архитектурного творчества для науки, воплощенные в установках, зданиях и сооружениях в первые годы атомного проекта. В наше время они являются вещественными свидетелями, источниками по истории проекта и в то же время — памятниками истории науки и истории культуры XX столетия. Это уникальные сооружения: прежде всего, реактор Ф-1 — первый физический в Европе и Азии и единственный теперь в мире, на котором 25 декабря 1946 г. была осуществлена Курчатовым с сотрудниками Лаборатории-2 цепная реакция деления в уран-графитовой системе. Это здание монтажных мастерских, где велся монтаж сборок этого реактора, построенное по проекту, выполненному в мастерской знаменитого архитектора академика А.В. Щусева. Это известная теперь всему миру "Хижина лесника" — дом главного научного руководителя "атомного проекта" и основателя Института атомной энергии академика И.В. Курчатова, где он жил и работал с 1946 по 1960 гг., построенный по проекту архитектурной мастерской не менее знаменитого архитектора академика И.В. Жолтовского. Теперь здесь музей, в котором хранится часть собрания курчатовского архива. Это большой циклотрон, построенный и запущенный под руководством Курчатова в 1947 г. Это здание с подземными камерами — БЛП-1

(аббревиатура несет в себе загадку истории, ответ ее прост — "Берия Лаврентий Павлович" увековечен в названии), построенное в 1947 г. для сектора-6 Лаборатории-2. Здесь методом взрыва В.И. Меркин и Ю.Б. Харитон исследовали, как образовываются надкритические массы, в частности, "пушечный" вариант атомной бомбы. Имеет курчатовский институт вещественные памятники истории и не на "московской" площадке. Один из них в Крыму. Недалеко от Ялты на берегу моря стоит дом, который также "помнит" Курчатова. Сюда после испытаний, чтобы восстановить исчерпанные силы и снять чудовищные нагрузки и напряжение, приезжал и проводил свой краткий отдых этот великий труженик своего времени.

Хочется обратить внимание на музейное собрание с той точки зрения, что его документы, несмотря на профессиональный отпечаток, имеют живой и доступный характер как по форме, так и по содержанию. В силу этого они обладают высокой совместимостью с повседневным сознанием людей, а поэтому находят отклик при их использовании и в научных исторических исследованиях, и средствами массовой информации — радио, кино и телевидением. Учитывая международный характер РНЦ "Курчатовский институт" и все более расширяющиеся связи с иностранной аудиторией, деятельность архива и музея по использованию документов, по распространению знаний об историческом прошлом курчатовского института, запечатленном в собраниях фонда архива и музея, становится все более актуальной. Созданный здесь Личный фонд академика Курчатова может стать не просто питательной средой для расширения источниковой базы исторических исследований. Этот фонд становится фактором, определяющим дальнейшее развитие исторической науки и, в частности, истории ядерной физики, атомной науки и техники в СССР в XX столетии. Можно без преувеличения сказать, что этот фонд составляет важную часть национального достояния России, поскольку в нем сосредоточены свидетельства о материальной и духовной культуре ее прошлого.

Поскольку в фонде сосредоточен огромный опыт созидательной деятельности советских ученых, то это документальное наследие имеет непреходящую ценность и, безусловно, принесет пользу исследователям, в частности историкам науки, в их работе над историей советского атомного проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архив Российского научного центра "Курчатовский институт". Фонд-2. — Личный фонд академика И.В. Курчатова. Архивное и музейное собрания.

2. **Кузнецова Р.В.** Документы о жизни и деятельности академика И.В. Курчатова, 1895-1989. (История, проблемы комплектования, систематизации и использования фонда личного происхождения): Дис. канд. ист. наук // М.: Моск. гос. ист.-арх. ин-т, 1990.

3. **Бондарев Н.Д., Кеда А.А., Селезнева Н.В.** "Особая папка" из архива И.В. Курчатова // ВИЕТ. 1994. — 2. с. 116-119.

И.В. КУРЧАТОВ ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РАБОТ ПЕРВОГО ЭТАПА РЕШЕНИЯ АТОМНОЙ ПРОБЛЕМЫ В СССР, 1943—1946 гг.

Н.В. Князькая

Решение атомной проблемы в нашей стране потребовало организации в 40-х гг. новой отрасли промышленности — атомной. Период ее создания может быть разделен на два этапа. Первый — 1943-1946 гг., когда были заложены теоретические, экспериментальные и организационные основы будущей атомной промышленности, завершившийся пуском в Лаборатории № 2 25 декабря 1946 г. первого экспериментального ядерного реактора Ф-1. "С этого момента, — по словам академика А.П. Александрова, — из атомной науки начала рождаться могучая атомная промышленность Советской страны" [1, с. 27]. "В 1946 г. и в предыдущие годы, — писал И.В. Курчатов в 1947 г., — мы занимались поисками научных и технических решений задачи получения атомных взрывчатых веществ, а в 1947 г. — практической реализацией найденных ранее решений" [2, л.11].

Второй — 1946-1949 гг., на протяжении которого были введены в эксплуатацию промышленные реакторы, установки для получения делящихся материалов, построены новые предприятия и заводы, создана мощная техническая база — все это свидетельствовало о создании новой для нашей страны отрасли промышленности — атомной — и завершилось выполнением основной для этого периода задачи — успешным испытанием первой советской атомной бомбы 29 августа 1949 года [3, с.14].

В настоящей статье предпринята попытка на основе недавно рассекреченных документов архива РНЦ "Курчатовский институт" и прежде всего, материалов, написанных лично И.В. Курчатовым (писем, докладных записок, докладов и черновиков к ним), а также документов, написанных Курчатовым и сотрудниками Лаборатории № 2 — руководителями отдельных направлений

работ (отчетов, лабораторных журналов, планов работ, писем и др.), рассмотреть основные направления работ первого этапа решения атомной проблемы и показать роль Лаборатории № 2 в их проведении.

Документы свидетельствуют, что И.В. Курчатов активно приступил к работам по урановой проблеме уже в конце 1942 г., еще до своего официального назначения руководителем уранового проекта. В архиве РНЦ "КИ" хранится его докладная записка вице-президенту АН СССР академику А.Ф. Иоффе "О состоянии работ в РИАНе по разделению изотопов методом термодиффузии", датированная 20 декабря 1942 года. "В связи с получением от Вас телеграммы от 15.12. с/г с поручением временного руководства работой, — пишет в ней Курчатов, — я ознакомился с ее состоянием у академика В.Г. Хлопина. Я считал бы желательным проведение всей этой работы, хотя для окончательного решения всей проблемы термодиффузионный способ вряд ли будет пригоден... Работы по разделению подлежат более гибкой проработке, чем пока намечено. Мне казалось бы очень важным участие в работе профессоров Харитона, Зельдовича и Кикоина". Далее Курчатов отмечает, что необходимо обратить внимание на диффузионный метод разделения, работы по которому получили широкое развитие за границей [4].

11 февраля 1943 г. ГОКО принял специальное Постановление № 2872 об организации научно-исследовательских работ по использованию атомной энергии с целью создания атомного оружия. И.В. Курчатов был назначен научным руководителем уранового проекта. На заместителя председателя Совнаркома и наркома химической промышленности М.Г. Первухина первый зам. пред. Совнаркома В.М. Молотов, которому тогда было поручено осуществлять общее руководство урановым проектом, возложил задачу координации хода работ и оказания всесторонней помощи [5, с.5-6].

В соответствии с Постановлением ГОКО, для проведения исследований по урановой проблеме распоряжением № 121 АН СССР 12 апреля 1943 г. создается первое в нашей стране специализированное "ядерное" научно-исследовательское учреждение — Лаборатория № 2 АН СССР, начальником которой стал И.В. Курчатов. "Лаборатории № 2, — писал он в 1946 г., — было поручено изучить проблему в целом и ответить на вопрос о возможности практического использования внутриатомной энергии. В 1944 г. Лабораторией № 2 был дан положительный ответ на этот вопрос, научная работа по урану с того времени получила все большее и большее развитие" [6, д.16/2, л.11].

Первоначально И.В. Курчатов собирает вокруг себя совсем небольшую группу физиков (Я.Б. Зельдовича, И.К. Кикоина, Г.Н. Флерова, А.И. Алиханова), вместе с которыми ведет поиск основных направлений для реализации поставленной перед ними задачи. После того, как план исследований был намечен, Курчатов постепенно увеличивает коллектив сотрудников Лаборатории № 2, ядро которого составили ученые-атомщики ЛФТИ. К

весне 1944 г. в Лаборатории № 2 работало 50, а к концу того же года — 100 человек (причем научные сотрудники составляли половину из этого числа) [5, с.7]. Создание атомных бомб требовало прежде всего производства ядерных взрывчатых веществ — урана-235, плутония-239 или урана-233, которые могли быть получены различными методами. Так, плутоний-239 и уран-233 могли быть получены при помощи реакторов (или, как тогда их называли, котлов) типа "природный уран — графит", "природный уран — тяжелая вода", "обогащенный уран — простая вода"; уран-235 — путем разделения изотопов урана разными способами: диффузионным, электромагнитным, термодиффузионным, ультрацентрифугальным, ионным и др.

Организация и проведение научно-исследовательских работ по вышеуказанным направлениям и составили основу первого этапа решения атомной проблемы в СССР. При этом главными среди этих направлений, достаточно четко обозначившимися, как отмечает И.В. Курчатов, уже к середине 1945 г. были: 1) — уран-графитовый котел, 2) — диффузионный метод, 3) — электромагнитный метод, 4) — котел уран — тяжелая вода, 5) — конструирование атомной бомбы [7, л.1]. "Мы тогда решили разрабатывать 4 метода, а не какой-либо один из них, — писал И.В. Курчатов в 1947 г., — т.к. не знали, где могут быть раньше и лучше получены надежные результаты" [2, л.63].

Лаборатория № 2 стала на первом этапе решения атомной проблемы центром, где велись теоретические и экспериментальные работы по всем основным, а также связанным с ними направлениям: уран-графитовым и тяжеловодным реакторам [8, 9], диффузионному и электромагнитному разделению изотопов урана [10, 11], конструированию атомной бомбы [12], строительству циклотрона и изучению свойств полученного на нем, а затем на реакторе Ф-1 плутония [13]. Все это нашло свое отражение в планах работ секторов Лаборатории № 2 за 1944-1946 гг. и других документах того периода [14].

В первое время все работы по урановому проекту велись ограниченными силами, в медленном темпе и не были обеспечены необходимыми материально-техническими ресурсами. О своей неудовлетворенности ходом работ и необходимости внести коррективы в их организацию И.В. Курчатов писал зам.пред. Совнаркома Л.П. Берии 29 сентября 1944 г. В докладной записке он подчеркнул, что изучение материалов о работах по урановой проблеме за границей показало, что там вокруг этой проблемы сконцентрированы ведущие научные и инженерно-технические силы, "у нас же, несмотря на большой сдвиг в развитии работ по урану в 1943-1944 гг., положение дел остается совершенно неудовлетворительным" [15]. Изменения в масштабах и уровне организации работ начали происходить лишь с середины 1945 г. и были обусловлены хорошо всем известными трагическими событиями августа 1945 г.

Постановлением ГОКО № 9887 от 20 августа 1945 г. во главе урановой проблемы в качестве директивного органа был поставлен Специальный Комитет под председательством Л.П. Берии [16]. На основании этого же Постановления был создан подчиненный Спецкомитету исполнительный орган — Первое Главное Управление (ПГУ) при Совнаркоме СССР во главе с Б.Л. Ванниковым. При Спецкомитете организовали Технический (август 1945 г.) и Инженерно-технический (декабрь 1945 г.) советы, которые в апреле 1946 г. объединили в Научно-технический совет ПГУ. Председателем его стал Б.Л. Ванников. В состав НТС вошли виднейшие ученые, руководители промышленности, крупные инженеры. Совет имел секции по всем основным направлениям проблемы [17, с.36-41].

Вышеуказанные изменения организационной структуры способствовали тому, что с осени 1945 г. объем работ по урановой проблеме значительно расширился, а темп их сделался чрезвычайно напряженным. Руководство страны стало уделять этой проблеме огромное внимание и оказывать всю необходимую помощь. Не случайно именно в этот период происходит несколько личных встреч Курчатова со Сталиным. Одна из них состоялась в августе 1945 г. после окончания Потсдамской конференции, на которой, как известно, Г. Трумэн с целью политического шантажа сообщил Сталину о наличии у США бомбы необычайно большой силы. По свидетельству А.П. Александрова, на этой встрече Сталин высказал в адрес Курчатова обвинение в том, что "тот мало требует для максимального ускорения работ". Курчатов ответил: "Столько разрушено, столько людей погибло. Страна сидит на голодном пайке, всего не хватает". Сталин раздраженно сказал: "Дитя не плачет — мать не разумеет, что ему нужно. Просите все, что угодно. Отказа не будет." [18].

Последующие встречи И.В. Курчатова со Сталиным произошли в начале 1946 г. Готовясь к ним, Курчатов делает несколько вариантов докладов [6, д.16/1-3]. После первой из этих встреч 25 января 1946 г. он записал свои впечатления. "Во взглядах на будущее развитие работ, — пишет Курчатов, — т. Сталин сказал, что не стоит заниматься мелкими работами, а необходимо вести их широко, с русским размахом, что в этом отношении будет оказана самая широкая всемерная помощь... т. Сталин сказал, что не нужно искать более дешевых путей..., что нужно вести работу быстро и в грубых основных формах..., что надо идти решительно со вложением решительно всех средств, но по основным направлениям" [6, д.16/4].

Первостепенным по значению среди других основных направлений стало создание экспериментального уран-графитового реактора, которое проходило в Лаборатории № 2 под личным руководством И.В. Курчатова. "Практические работы по получению атомных взрывчатых веществ, — писал он при подготовке доклада Сталину, — должны быть сосредоточены на уран-графитовом котле. Это направление должно быть особо выделено как главное. Особое положение уран-графитового котла объясняется не тем,

что этот метод является наилучшим (по затратам материалов, сырья и другим показателям). Он является единственным, состояние научно-технической разработки которого позволяет в наиболее короткий срок получить плутоний-239..." [6, д.16/3, л.1-2].

Теоретические расчеты саморазвивающейся цепной ядерной реакции для первого экспериментального реактора были выполнены сотрудниками Лаборатории № 2 И.И. Гуревичем, Я.Б. Зельдовичем, И.Я. Померанчуком и сотрудниками ФИАНа Е.Л. Фейнбергом и И.М. Франком. Первые экспериментальные исследования размножения нейтронов в реакции деления проводились под руководством И.В. Курчатова, Г.Н. Флерова, В.А. Давиденко, И.С. Панасюка [6, д.16/1, л.5-6].

"Схема работы атомных котлов и получения плутония, — отмечал И.В. Курчатов в докладной записке 1946 г., — была разработана в 1944 г., как на основании собственных расчетов и лабораторных опытов, выполненных в Союзе, так и на основании данных наших разведывательных органов. Хотя и не было сомнений в принципиальной стороне дела, тем не менее скорейшее практическое осуществление цепной ядерной реакции в атомном котле является важной задачей первостепенного значения" [19, л.16-17].

Для достижения критической массы реактора необходимо было иметь 25-50 т металлического урана и несколько сотен тонн графита необычайно высокой чистоты. Получение и контроль качества этих материалов рассматривались как главная задача, определяющая успех всего дела. Наряду с сотрудниками Лаборатории № 2 к этим работам были привлечены научные коллективы ряда академических и отраслевых институтов (ГЕОХИ, РИАН, Гиредмет, Институт неорганической химии, Физико-химический институт, ВИАМ и др.). К концу 1945 г. — началу 1946 г. только проблемой урана занимались, по свидетельству И.В. Курчатова, более 20-ти научно-исследовательских организаций [6, д.16/2, л.11].

Получение необходимых ученым графита и урана требовало разработки новых технологий. К августу 1945 г. сотрудникам Лаборатории № 2 В.В. Гончарову и Н.Ф. Правдюку вместе с работниками Московского электродного завода удалось разработать специальный технологический процесс и с октября начать выпуск графита необходимого качества [20, с.45].

Большие сложности представляло собой и получение чистого металлического урана. Разведанные к тому времени запасы урановых руд на территории нашей страны были незначительны. "До мая 1945 г., — отмечал Курчатов, — не было надежды осуществить уран-графитовый котел, т.к. в нашем распоряжении было только 7 т окиси урана. В середине прошлого (1945 г. — Н.К.) года т. Берия направил в Германию специальную группу работников Лаборатории № 2 и НКВД во главе с тт. Завенягиным, Махневым и Кикоиным для розысков урана и уранового сырья. В результате большой работы группа нашла и вывезла в СССР 300 т окиси урана и его соединений,

что серьезно изменило положение не только с уран-графитовым котлом, но и со всеми другими урановыми сооружениями" [6, д.16/1, л.22].

Вместе с ураном в Лабораторию № 2 была привезена также научная и техническая документация, приборы и оборудование ряда демонтированных немецких институтов, что значительно ускорило работу [5, с.8-9]. К разработке технологии получения чистого металлического урана вместе с Гиредметом Наркомцветмета СССР, где эти работы велись с 1943 г., в конце 1945 г. был привлечен завод № 12 в г. Электросталь [6, № 16/1, л.23]. В Лаборатории № 2 был организован непрерывный ядерно-физический контроль поступавших с завода урана и графита для первого реактора, что подтверждают многочисленные отчеты, хранящиеся в архиве РНЦ. Теория опыта, служащего для проверки качества этих материалов, была развита В.С. Фурсовым [8].

В конце 1945 г. — начале 1946 г. приступили к работам по непосредственному строительству реактора, которые были поручены сотрудникам сектора № 1. 25 декабря 1946 г. был осуществлен пуск первого в нашей стране и на континенте Евразии экспериментального реактора Ф-1 (физический — первый). Реактор служил прежде всего для получения плутония и урана-233 [20]. Полученное в результате его пусков небольшое количество плутония позволило расширить изучение химических свойств этого элемента и усовершенствовать технологию извлечения его из облученного урана. Этими вопросами занимались, начиная с 1943 г., сотрудники РИАНа под руководством академика В.Г. Хлопина и радиохимики Лаборатории № 2 под руководством Б.В. Курчатова. Последний, в частности, изучал ядерные и химические свойства плутония, накопленного в индикаторных количествах в результате работы небольшого циклотрона, который был введен в действие в Лаборатории № 2 25 сентября 1944 г. (работами руководил Л.М. Неменов) [13].

В 1947 г. из урана, облученного в реакторе, были выделены первые видимые и весомые количества плутония (100 мкг). Вместе с Лабораторией № 2 этим вопросом стали заниматься сотрудники созданного в 1945 г. нового специализированного химико-металлургического института — НИИ-9 (будущего ВНИИНМ) [2, л.28].

Проведенные на реакторе Ф-1 экспериментальные исследования дали основания с уверенностью утвердить разработанный ранее проект реактора, предназначенного для промышленного производства плутония, и в короткие сроки осуществить его сооружение (первый отечественный промышленный реактор был пущен в июне 1948 г.).

Плутоний мог быть также получен в результате работы реактора "уран -тяжелая вода". Этот котел проще по конструкции, — отмечал Курчатов, готовясь к докладу Сталина, — и требует в 10 раз меньших количеств металлического урана...", "наибольшей трудностью осуществления этого котла является получение тяжелой воды" [6, д.16/1, л.7; д.16/3, л.3].

До 1943 г. тяжелая вода в СССР не производилась. В 1943-44 гг. сотрудникам сектора № 4 Лаборатории № 2 (М.О. Корнфельд, Д.М. Самойлович, Р.Л. Сердюк) были изучены разные способы получения тяжелой воды и разработана схема ее изготовления с привлечением цеха электролиза Чирчикского комбината в Узбекистане. На этом комбинате в конце 1944 г. силами сотрудников сектора № 4 была организована специальная лаборатория, а в январе 1946 г. — пущена установка получения тяжелой воды методом электролиза [6, д.16/1, л.7-8, 10]. Однако масштабы производства тяжелой воды были недостаточны, на что обращали внимание как Курчатов, так и непосредственные участники работ. "Научно-техническая разработка здесь значительно продвинулась вперед, — писал Курчатов в феврале 1946, — мы имеем кроме того много ценных трофейных отчетов из Германии, где основным направлением работ по использованию атомной энергии был котел уран — тяжелая вода... Необходимо расширить производство тяжелой воды" [6, д.16/3, л.3]. О неудовлетворительном состоянии и трудностях, связанных с промышленным производством тяжелой воды, писал М.О. Корнфельд в мае 1946 г. [21].

В конце 1945 г. работы по тяжеловодным реакторам были переданы созданной тогда Лаборатории № 3 (будущему ИТЭФу), которую возглавил академик А.И. Алиханов, работавший до этого в Лаборатории № 2.

Основными направлениями по получению урана-235 стали диффузионное и электромагнитное разделение изотопов урана.

Работы по диффузионному методу возглавлял в Лаборатории № 2 И.К. Кикоин.

Следует отметить, что первоначально советские физики отдавали предпочтение центрифугальному методу получения урана-235, которым они занимались еще в 30-е годы. Однако, когда от разведки были получены сообщения о том, что за рубежом активно разрабатывается диффузионный метод, решено было сосредоточить основное внимание на нем. Этот факт подтверждают и архивные материалы.

Сохранились письма-отчеты Кикоина Курчатову из Свердловска, датированные сентябрем 1943 г. "Профессор Ланге работает довольно успешно, — пишет Кикоин, — много времени проводит в лаборатории, где мы обсуждаем различные методы усовершенствования центробежного метода разделения... Работа по диффузионному методу разделения пока движется медленно" [10].

"В 1943 г. в Лаборатории № 2, — писал И.В. Курчатов при подготовке встречи со Сталиным, — Кикоиным и Ланге была сконструирована по предложению последнего ультрацентрифуга... Центрифуга была построена на заводе № 26 и была установлена в Свердловске. Аппарат был испытан на разделение воздуха и водорода и дал хорошие результаты... Наибольшие перспективы получения урана-235 в больших количествах связываются у нас с методом диффузии, разрабатываемым с 1943 г. в Лаборатории № 2 Кикоиным, Вознесенским и Соболевым" [6, д. 6/1, л.3].

Для решения проблемы диффузионного разделения в январе 1944 г. в Лаборатории № 2 был организован сектор № 2, преобразованный в мае 1947 г. в отдел "Д". Работы в этот период велись также в Ленинградском филиале Лаборатории. В 1945 г. на территории Лаборатории № 2 для нужд сектора № 2 был введен в строй Опытный завод. В конце 1945 г. были получены первые разделительные фильтры и проведено испытание первого опытного компрессора на гексафториде урана, изготовленного на Опытном заводе, а в феврале 1947 г. в Лаборатории № 2 состоялся пуск первого опытного диффузионного разделительного каскада. Большой вклад в эти работы был внесен теоретиком Я.А. Смородинским, который с И.К. Кикоиным и С.Л. Соболевым развил теорию каскадов диффузионных машин. В области инженерно-технического решения проблемы много было сделано крупным ленинградским конструктором и инженером И.Н. Вознесенским [6, д.16/1, л.4; 5, с.12; 2, л.50].

Работы по электромагнитному разделению возглавлял Л.А. Арцимович. Они велись, начиная с 1944 г., в секторе №5 Лаборатории № 2, который в мае 1947 г. был преобразован в отдел "А". На протяжении 1944-45 гг. Л.А. Арцимович, И.Н. Головин и Г.Я. Щепкин развивали и сопоставляли варианты различных способов электромагнитного разделения. К концу 1945 г. они остановились на стационарных ионных пучках с поворотом их в магнитном поле на 180^0 [5, с.12, 14]. В августе 1946 г. была введена в строй первая экспериментальная установка для разделения изотопов электромагнитным методом. Большой вклад в эту работу был внесен также научными сотрудниками П.М. Морозовым и Л.М. Андриановым, конструкторами Э.Н. Браверманом, М.И. Дмитруком и др. [11].

Следует отметить, что к исследованиям как по диффузионному, так и по электромагнитному методам разделения изотопов, начиная с 1945 г., были привлечены немецкие специалисты — профессора М. фон Арденне, Г. Герц, П.А. Тиссен, М. Штеенбек, Р. Райхман, Бернгард и др., работавшие в институтах "А" и "Г" в Сухуми [22].

Исследования, связанные с конструированием атомной бомбы, на первом этапе вплоть до организации в апреле 1946 г. КБ-11 (будущего ВНИИЭФ) также велись в стенах Лаборатории № 2 под руководством Ю.Б. Харитона. В архиве РНЦ сохранился проект распоряжения ГОКО, написанный Ю.Б. Харитоном в 1944 г., об организации в Лаборатории № 2 для этой цели специальной группы и обеспечении ее необходимыми материалами (порохом, деталями снаряжения для проведения опытов и т.д.) [12].

Сотрудники этой группы (В.И. Меркин, В.А. Александрович, А.А. Пяткин и др.) начали с проведения опытов по стрельбе из винтовки в винтовку в качестве первого шага пушечного варианта взрыва бомбы [12]. Затем от экспериментов с винтовками перешли к экспериментам с использованием артиллерийских орудий (зенитных пушек). В связи с чем И.В. Курчатов в конце 1945 г. — начале 1946 г. (дата документов точно не установлена)

обращается с письмами к Л.П. Берии с просьбой выделить Лаборатории № 2 две пушки ЗИС-3 для экспериментов [23]. Аналогичные опыты проводились также на заводе № 28 Наркомата вооружений, на что указывал И.В. Курчатов в своих записках при подготовке встречи со Сталиным. В них же он объясняет причину необходимости проведения подобных экспериментов: "Для приведения бомбы в действие необходимо иметь на некотором расстоянии друг от друга две массы урана-235 или плутония, каждая из которых меньше критической, и затем сблизить их. Как было показано Флеровым еще в 1940 г., это сближение необходимо произвести достаточно быстро. Проблема быстрого сближения представляет основную проблему в конструкции атомной бомбы" [6, д.16/1, л.9].

Много внимания уделяет Курчатов также сравнению бомб из урана-235 и плутония. "Согласно добытых нашей разведкой последних американских данных о взрыве атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки, — пишет он, — бомба из урана-235 в 10 раз менее эффективна, чем бомба из плутония-239" [6, д.16/3, л.3]. В другой записке он указывает, что "на основании данных Бюро № 2 известно, что атомная бомба, снаряженная 60 кг урана-235, дает приблизительно тот же разрушительный эффект, как и бомба, содержащая 6 кг плутония", и здесь же объясняет причины этих различий [7, л.3-4].

Помимо анализа основных направлений работ, Курчатов большое внимание уделяет их сравнению, выяснению преимуществ, недостатков и перспективности каждого из них.

"Все способы могут дать практическое решение задачи использования внутриатомной энергии, — отмечает он в начале 1946 г., — хотя степень изученности разных способов весьма различна. Степень осуществления во всех случаях сопряжена с большими работами, заключающимися в разрешении ряда сложных, новых научных и инженерных вопросов, во всех случаях необходимо вложение серьезных материальных ресурсов". Выбор того или иного направления определяется "степенью подготовленности теоретических разработок и степенью обеспеченности сырьевыми базами... Теоретические разработки дальше всего продвинулись по диффузионному способу получения урана-235, атомному котлу уран — тяжелая вода и атомному котлу уран — графит. Сырьевой базой обеспечен только диффузионный способ и котел уран — графит. Осуществление котла уран — тяжелая вода в настоящее время невозможно из-за отсутствия необходимых количеств тяжелой воды". В этой же работе, говоря о перспективности направлений, Курчатов подчеркивает, что "ни диффузионный способ получения урана-235, ни котел уран — графит не могут считаться ни наиболее практичными, ни наиболее перспективными способами решения всех проблем, так как диффузионный завод (его, как и первый промышленный реактор, начали строить в 1946 г. — Н.К.) требует изготовления весьма сложного механического оборудования, а уран-графитовый котел требует

больших затрат урана и, возможно, дает небольшой коэффициент использования этого драгоценного вещества" [6, д.16/2, л.25а-26].

Последнее обстоятельство с полной определенностью он подчеркивает годом позже. "Ограничиться только уран-графитовым направлением, — пишет он в докладе об итогах работы за 1947 г., — было бы неверно, так как очень важным показателем ценности метода является глубина использования сырья. В этом отношении уран-графитовые котлы дают худшие результаты, чем три других направления" (реактор "уран—тяжелая вода", диффузионный и электромагнитный методы — Н.К.) [2, л.65].

В этом же докладе Курчатов говорит о других (не основных) направлениях научно-исследовательских работ по урану, которые велись в 1946-47 гг. и которые следует развивать в дальнейшем: получение урана-235 термодиффузионным методом (его разрабатывали в Институте физических проблем под руководством А.П. Александрова), методом центрифугирования (им занимались немецкие специалисты Штеенбек и Ланге), высокочастотным электрическим методом (работы велись в ЛФТИ под руководством академика А.Ф. Иоффе) [2, л.78-80].

Чтобы успешно развивать направления работ, о которых шла речь выше, необходимо было иметь соответствующие организационное и материально-техническое их обеспечение, о чем пишет Курчатов, готовясь к встрече со Сталиным, в феврале 1946 г.: "Решение исключительно сложных задач может быть обеспечено не только при условии преодоления нами трудностей в научных вопросах..., но и при условии, если вся практическая работа будет осуществляться мощной хозяйственной организацией. Она должна обладать лучшими кадрами хозяйственных руководителей, собственной сильной строительной организацией, оперативным хозяйственным аппаратом и иметь в своем распоряжении все нужные материально-технические ресурсы, что позволило бы ей вести исполнение практических работ без задержек". Курчатов далее подчеркивает, что "было бы необходимо предоставить исследовательским и практическим работам по урану преимущества перед всеми другими работами в отношении материально-технического обеспечения и очередности их исполнения на промышленных предприятиях и в научно-исследовательских организациях", беспрепятственно переводить в Лабораторию № 2 и смежные с ней организации и предприятия всех нужных научных и инженерно-технических работников, для осуществления контроля и оперативной помощи выделить на главные заводы и предприятия оперуполномоченных" [6, д.6/3, л.8, 16].

Следует отметить, что все эти пожелания были выполнены. Курчатов практически получил права министра. Он напрямую мог обращаться к Берии, в Совмин, Госплан и т.д. Лаборатория № 2, в частности, имела свою строительную организацию. Все это значительно ускорило достижение основной цели.

В материалах, написанных в 1946-47 гг., И.В. Курчатов уделяет немалое (для того времени) внимание и планам дальнейшего развития работ по урану "с целью изыскания возможных новых способов получения и использования атомной энергии" [6, д.16/3, л.1]. Он пишет о необходимости создавать реакторы, которые использовали бы весь уран, а не только один его изотоп уран-235: "Настало время проанализировать вопрос о котлах, работающих не только на медленных, но и на быстрых нейтронах..., переход к быстрым нейтронам радикально меняет положение дел с использованием урана-238. В Лаборатории № 2 профессор И.И. Гуревич выполнил предварительные теоретические расчеты котлов, работающих на быстрых нейтронах" [7, л.22-26]. "Было бы очень увлекательно, — продолжает Курчатов, — построить котел на газовом охлаждении, используя уран, содержащий 2% изотопа урана-235, необходимо выполнить в 1947 г. — первой половине 1948 г. в большом масштабе научно-исследовательские работы по применению окиси бериллия в качестве замедлителя в атомных котлах" [7, л.47-48].

Обширную программу будущего мирного применения атомной энергии Курчатов намечает уже в начале 1946 г. при подготовке доклада Сталину: "Нет сомнения в том, что атомная энергия и радиоактивные вещества, которые будут получены в атомных установках, найдут в недалеком будущем разнообразное применение в технике, химии, биологии и медицине. Возникнут, вероятно, возможности преобразования энергии не только в тепловую, но и в другие формы энергии (электрическую и химическую), будут разработаны конструкции двигателей, использующих энергию урана. Своевременно уже сейчас начать работу в этих направлениях. Лаборатория № 2 и все остальные, связанные с ней, научные организации полностью заняты практическим решением проблемы создания атомной бомбы и урановых котлов. Необходимо в этой связи поручить Академии наук в качестве задачи первостепенного значения организовать работу по применению атомной энергии и радиоактивных веществ в технике, химии, биологии и медицине, привлечь к этой работе ученых и институты, еще не занимающиеся атомной энергий" [6, д.16/3, л.5].

Первый этап решения атомной проблемы и создания атомной промышленности в нашей стране был по своему характеру этапом организационно-подготовительным, на протяжении которого проходил поиск научно-технических решений задачи получения атомных взрывчатых веществ. В организационном отношении он может быть разделен на два подэтапа, рубежом между которыми стал август 1945 г., когда после атомной бомбардировки США японских городов Хиросимы и Нагасаки проводимые у нас с 1943 г. работы по урановому проекту приобрели надлежащие темпы и размах. Научные исследования на этом этапе проводились по многим направлениям, среди которых к 1945 г. Курчатов выделил главные: создание уран-графитовых и уран-тяжеловодных реакторов, диффузионные и электромагнитные методы разделения изотопов урана, конструирование атомной

бомбы. Центром проведения работ сразу же стала Лаборатория № 2, немногочисленному в то время коллективу которой пришлось первоначально принять на себя всю тяжесть решения основных проблем, несмотря на то, что к выполнению отдельных участков работ с первых же дней привлекались ведущие академические и отраслевые институты страны. Лишь к концу первого этапа для развития исследований по отдельным направлениям были созданы специальные научно-исследовательские и конструкторские организации: Лаборатория № 3, НИИ-9, КБ-11.

Изучение материалов, написанных И.В. Курчатовым в 1946-47 гг., и других документов, посвященных работам 1943-46 гг., дает возможность более широко и глубоко провести конкретно-исторический анализ первого этапа решения атомной проблемы и создания атомной промышленности в СССР, помогает расширить и углубить наши знания об исследованиях тех лет.

Эти материалы еще раз подтверждают роль И.В. Курчатова как выдающегося дальновидного ученого и крупнейшего организатора атомной науки и техники нашей страны. Вместе со своими ближайшими сотрудниками он не только намечает пути исследований, детально разрабатывает и анализирует каждый из них, но также выступает инициатором и руководителем проведения работ широким фронтом. На наш взгляд, это обстоятельство может служить одним из доказательств того факта, что к поступавшим от разведки агентурным материалам (упоминание о них неоднократно встречается в курчатовских записях) Курчатов относился с большой осторожностью, понимая, что они нуждаются в тщательной проверке и дополнительных расчетах и что для успеха дела надежнее и лучше проводить работы одновременно по разным направлениям.

Документы И.В. Курчатова свидетельствуют о том, что работы по созданию атомного оружия он рассматривал как вынужденную необходимость, связанную с напряженной международной обстановкой того времени и стремлением к обеспечению безопасности своей Родины. С самого начала решения атомной проблемы он думал о развитии работ по мирному использованию атомной энергии. Не случайно эта тема появляется в его записях уже в начале 1946 г., когда до изготовления и испытания первой советской атомной бомбы оставалось еще более трех с половиной лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Александров А.П.** Атомная энергетика и научно-технический прогресс. — М., Наука, 1978.

2. **Курчатов И.В.** Доклад об основных научно-исследовательских, проектных и практических работах по атомной энергии, выполненных в 1947 г. Черновик. — Архив Российского научного центра "Курчатовский институт" (далее Архив РНЦ), ф.2, оп.1/с, д.23.

3. **Князькая Н.В.** Становление и развитие атомной энергетики СССР в 40-е — 60-е гг. — Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата исторических наук. — М., МГУ, 1986.

4. Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д. 38.

5. **Головин И.Н.** От Лаборатории № 2 до Курчатовского института. — В кн.: История атомного проекта. в.1, РНЦ "КИ", М., 1995, с.3-35.

6. **Курчатов И.В.** Материалы по докладу И.В. Сталину от 25.01.46 и 12.02.46. (Черновые записи, заметки, тезисы и личные впечатления о встрече.) — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.16/1-4.

7. **Курчатов И.В.** Доклад о развитии работ по урану и черновые заметки к нему. 1947. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.22.

8. **Курчатов И.В., Панасюк И.С.** Результаты изучения возможности применения нескольких сортов графитированных электродов для уран-графитового котла. Отчет. 1944. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.2; Они же. Отчет об опытах со слоем урана, пересекающим графитовую призму. 1945. — Там же, д.4; Они же. Экспериментальное и теоретическое изучение вопросов, связанных с постройкой уран-графитового котла. Отчет. 1946. — Там же, ф.1, оп.1-н/д, д.541 (ЦНТБ); Курчатов И.В., Жежерун И.Ф. Физическое испытание пригодности урана для постройки первого уран-графитового котла. Отчет. 1946. — Там же, д.1609 (ЦНТБ); Фурсов В.С. К теории экспоненциального опыта. 1946-1947 гг. — Там же, д.801-802 (ЦНТБ).

9. **Корнфельд М.О.** Докладные записки И.В. Курчатову о производстве и накоплении тяжелой воды. 1944. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.40/13; Корнфельд М.О., Самойлович Д.М. Письмо Курчатову из Узбекистана об организации лаборатории по получению тяжелой воды в г.Чирчик. 1944. — Там же, д. 40/14.

10. **Кикоин И.К.** Отчеты о работе по разделению газов в гг. Свердловске и Уфе. 1943. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.40/10.

11. **Арцимович Л.А.** Докладная записка о состоянии работ в лабораториях Щепкина Г.Я. и Головина И.Н. 1946. — Там же, д.40/3.

12. **Харитон Ю.Б.** Проект распоряжения ГОКО по вопросам изготовления опытного образца изделия. 1944. — Там же, д.40/28; Александрович В.А., Пяткин А.А., Меркин В.И., Харитон Ю.Б. Отчет по исследованию условий синхронизации параллельного выстрела из двух стволов в установках ЭС-1. — Там же, д.54.

13. **Неменов Л.М.** Краткий отчет о деятельности сектора №16 отдела физики ИАЭ АН СССР за период 1943-1961 гг. Отчет.1961. — Архив РНЦ, ф.1, оп.1, д.2016 (ЦНТБ).

14. Архив РНЦ, ф.2, оп. 1/с, д.28, 32.

15. **Курчатов И.В.** Докладная записка зам. председателя Совнаркома Берии о неудовлетворительном положении дел в развитии работ по урану. 1944. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.31/2.

16. К истории мирного использования атомной энергии в СССР. 1944-1951. Документы и материалы. — Обнинск, 1994, с.XV-XVII.

17. **Круглов А.К.** Как создавалась атомная промышленность в СССР. — 2-е изд., испр. — М., ЦНИИатоминформ, 1995.

18. **Смирнов К.** Как делали бомбу (беседа с А.П. Александровым). — Известия, 1988, 22 июля.

19. **Курчатов И.В.** Атомные взрывчатые вещества и выделение урана-235. Физический процесс в атомных котлах. Докладная записка. 1946. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.15.

20. **Курчатов И.В.** План работы на Ф-1 различных испытаний для промышленного котла на 1947 год. 1947. — Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.21.

21. **Корнфельд М.О.** О неудовлетворительном состоянии промышленного производства тяжелой воды. Письмо. 1946. — Там же, д.35/15.

22. Копия докладной записки тт. Завенягина и Емельянова в Совет министров о результатах выполнения заданий институтами "А" и "Г". 1946. — Там же, д.36/43.

23. Архив РНЦ, ф.2, оп.1/с, д.35/49, 31/3.

ВЕРНАДСКИЙ У ИСТОКОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

И.Н. Ивановская

Нашего замечательного соотечественника Владимира Ивановича Вернадского по праву можно считать первым организатором и руководителем всех исследований радиоактивности и радиоактивного сырья в России.

Именно Вернадский первым из учёных-естествоиспытателей оценил значение открытия радиоактивного распада и уже в 1908 году добивается включения работ по изучению радиоактивности и радиоактивных руд России в число приоритетных, финансируемых государством, тем Академии наук.

В декабре 1910 года на годичном собрании Академии наук Вернадский выступает с программным докладом "Задача дня в области радия", в котором он произносит слова, предвещающие начало атомного века:

"Перед нами открываются в явлениях радиоактивности источники атомной энергии, в миллионы раз превышающие все те источники сил, какие рисовались человеческому воображению.

...С надеждой и опасением всматриваемся мы в нового союзника и защитника...

...В вопросе о радии ни одно государство и общество не могут относиться безразлично, как, каким путём, кем и когда будут использованы и изучены находящиеся в его владениях источники лучистой энергии. Ибо владение большими запасами радия даёт владельцам его силу и власть, перед которыми может побледнеть то могущество, какое получают владельцы золота, земли, капитала.

...Теперь, когда человечество вступает в новый век лучистой атомной энергии, мы, а не другие, должны выяснить, что хранит в себе ...почва нашей родной страны".

Поиск месторождений радиоактивных минералов и разработку способов извлечения из них радия Вернадский считал задачей государственной важности: в 1908 году с первой радиогеологической экспедицией в Фергану

(тогда был открыт известный Тюя-Муюнский рудник) начинается поиск радиоактивных руд по всей территории страны, в 1910 году он организует и возглавляет Радиевую Комиссию Академии наук; в 1916 году добивается решения об организации завода на р. Каме для промышленного извлечения радия, на котором в декабре 1921 года "...трудами и энергией ...В.Г. Хлопина первый русский радий получен из русской руды",

В январе 1922 года, в продолжение радиогеологических работ Радиевой экспедиции, Радиевой лаборатории, Вернадским создаётся Государственный Радиевый институт, директором которого он остаётся вплоть до 1938 года.

Но в те годы практические способы получения атомной энергии составляли лишь предмет отвлечённых рассуждений. Принципиально другая ситуация возникла в 1939 году после открытия О. Ганом и Ф. Штрассманом деления ядер урана. Вернадский в письме к своему другу и коллеге Б.Л. Личкову от 17 июня 1939 так оценивает это событие: "Сейчас огромный взрыв в области радиоактивности благодаря особому распадению ядер урана и тория..."

В первых числах июня 1940 года Вернадский получил от сына Георгия, жившего тогда в Соединённых Штатах Америки, письмо, в котором была вырезка из газеты "Нью-Йорк Таймс" от 5 мая 1940 года со статьёй, в которой говорилось о возможности практического использования энергии атома и о ведущихся в этом направлении исследованиях.

В ответном письме сыну от 5 июля 1940 года Вернадский написал:

"Это было первое известие об этом открытии, которое дошло до меня и до Москвы вообще".

Но нужно сказать, что здесь он был неточен в своей оценке. Уже больше года в институтах и лабораториях Ленинграда, Москвы и Харькова интенсивно проводились исследования деления урана, которые по своему уровню нисколько не уступали зарубежным.

28 мая 1940 года советские учёные Г.Н. Флёров и К.А. Петржак даже открыли принципиально новое явление — спонтанное деление урана. Но эти исследования носили чисто научные цели и о практическом использовании деления урана и речи не было. Тем более, что в академических и правительственных кругах бытовало мнение, что для советской науки изучение ядерных проблем отнюдь не является первостепенным.

Но как раз именно Вернадский первым осознал, что поиски практических решений проблемы получения атомной энергии не терпят отлагательства[1].

"Я немедленно двинул дело", — сообщил он сыну (в вышеуказанном письме к сыну в США от 5 июля 1940 г.). А "дело" состояло в том, что по его инициативе в Академии наук 25 июня 1940 года была создана

[1] Летом 1940 года Вернадский, внимательно следивший за зарубежными публикациями, обратил внимание на засекреченность исследований проблемы урана за рубежом. Для него это стало, особенно в условиях тревожных международных событий, ещё одним доводом в пользу всемерного форсирования аналогичных разработок в нашей стране.

специальная группа, которая должна была наметить первоочередные меры для постановки проблемы на практические рельсы. В неё вошли В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман и В.Г. Хлопин.

12 июля 1940 года за подписями участников этой "тройки" было направлено письмо на имя зам. Председателя Совета Народных Комиссаров СССР Н.А. Булганина. Текст этого письма неоднократно публиковался, но напомним его содержание ещё раз.

"Заместителю председателя Совнаркома СССР
товарищу Н.А. Булганину.

Работы по физике атомного ядра привели в самое последнее время к открытию деления атомов элемента урана под действием нейтронов, при котором освобождается огромное количество внутриатомной энергии, превосходящее в десятки раз количество энергии, выделяющейся при радиоактивном распаде.

Вместе с тем последними работами установлено, с одной стороны, что деление ядер претерпевают лишь атомы изотопов урана с массой 235 и 234, а с другой — что деление это протекает лишь под действием медленных, а не быстрых нейтронов, что даёт, если это подтвердится, в руки исследователей возможность регулировать процесс. Эти работы ставят на очередь вопрос о возможности технического использования внутриатомной энергии.

Конечно, на этом пути стоит ещё ряд очень больших трудностей, и потребуется проведение большой научно-исследовательской работы, однако, как нам кажется, трудности эти не носят принципиального характера. Нетрудно видеть, что если вопрос о техническом использовании внутриатомной энергии будет решён в положительном смысле, то это должно в корне изменить всю прикладную энергетику.

Важность этого вопроса вполне сознаётся за границей, и, по поступающим оттуда сведениям, в Соединённых Штатах Америки и Германии лихорадочно ведутся работы, стремящиеся разрешить этот вопрос, и на эти работы ассигнуются крупные средства.

В заседании от 25 июня с.г. Отделение геолого-географических наук выделило специальную тройку под председательством академика В.И. Вернадского в составе академиков А.Е. Ферсмана и В.Г. Хлопина, которой поручило наметить мероприятия, которые позволили бы форсировать работы по использованию внутриатомной энергии в Союзе. Мы полагаем, что уже сейчас назрело время, чтобы правительство, учитывая важность решения вопроса о техническом использовании внутриатомной энергии, приняло ряд мер, которые обеспечили бы Советскому Союзу возможность не отстать в разрешении этого вопроса от зарубежных стран.

Эти мероприятия нам представляются в следующем виде:

1. Поручить Академии наук срочно приступить к выработке методов разделения изотопов урана и конструированию соответствующих установок и войти в правительство с ходатайством о специальных для этого ассигнованиях, а также о выделении соответствующего количества драгоценных и цветных металлов.

2. Предложить Академии наук форсировать работы по проектированию сверхмощного циклотрона Физического института Академии наук.

3. Создать Государственный фонд урана.

академик Вернадский В.И.
академик Ферсман А.Е.
академик Хлопин В.Г."

Ответом на это письмо было создание 30 июля 1940 года при Президенте Академии наук Комиссии по проблеме урана, в состав которой вошли ведущие учёные страны. Председателем Комиссии, по предложению Вернадского, был избран его ученик и помощник В.Г. Хлопин. Так был сделан первый шаг к советскому урановому проекту.

Деятельность Комиссии была кратковременной, до июня 1941 года, но то, что ей удалось сделать, имело немаловажное значение для последующей реализации Атомного проекта в СССР. За короткое время Комиссия скоординировала работы исследователей разных специальностей и наметила главные вопросы, требовавшие первоочередного решения.

В самый разгар войны, 13 марта 1943 года (на следующий день после своего 80-летия) Вернадский, находящийся в эвакуации в местечке Боровое (Северный Казахстан), направляет Президенту АН СССР В.Л. Комарову записку:

"Я считаю необходимым немедленно восстановить деятельность Урановой комиссии, имея в виду как возможность использования урана для военных нужд, так и необходимость быстрой реконструкции последствий разрушений от гитлеровских варваров, произведённых в нашей стране. Для этого необходимо ввести в жизнь источники новой мощной энергии. Логически ясно для меня, что таковой на первом месте должна быть энергия актино-урана. Из того, что доходит до меня из иностранной литературы, я вижу косвенные указания на то, что мысль в этом направлении идёт как у наших союзников, так и наших врагов, и, очевидно, в этом направлении идут искания... Я считаю делом первостепенной государственной важности направить деятельность Урановой комиссии прежде всего на выяснение запасов урана..."[1].

---

[1] Цит. по кн.: И.И. Мочалов "Владимир Иванович Вернадский", М., "Наука", 1982 г., с.355-356.

Президент АН СССР В.Л. Комаров в полной мере оценил всю важность этого документа. "Ваша Записка об Урановой комиссии мною направлена в Совет Народных Комиссаров СССР",[1] — отвечает он В.И. Вернадскому 27 апреля 1943 года.

И "в 1943 году, уже по инициативе Советского правительства, работы по урановой проблеме развернулись во всю ширь", — вспоминал академик Д.И. Щербаков[2].

2 октября 1944 года Вернадский принял участие в совещании у И.И. Малышева — Председателя Комитета по делам геологии при СНК СССР, — на котором обсуждался план поисково-разведочных работ по урану на 1944 год. По предложению Вернадского, совещание приняло решение поручить Институту гидрогеологии и инженерной геологии проработать к 1 января вопрос о возможности откачки воды из Тюя-Муюнского рудника с целью проведения там в дальнейшем изысканий урановых руд. Вернадский вошёл в состав Консультационного бюро по этим вопросам.

"Я придаю огромное значение урановой проблеме", — написал он И.И. Малышеву 4 октября 1944 года. Такое же внимание к радиоактивности, к радиоактивным рудам Вернадский воспитывал у своих учеников и сотрудников.

---

[1] Цит. по кн.: И.И. Мочалов "Владимир Иванович Вернадский", М., "Наука", 1982 г., с.355-356.

[2] Цит. по кн.: "Д.И. Щербаков. Жизнь и деятельность", М., "Наука", 1969

СЕКЦИЯ 2
МЕМУАРЫ К ИСТОРИИ ПРОЕКТА

Ведущие — П.Е. Рубинин, Ф.И. Карелин

Ученые секретари — И.Н. Ивановская, Е.И. Ильенко

В.Г. ХЛОПИН И АТОМНАЯ ПРОБЛЕМА

Г.С. Синицына, С.В. Бутомо, Е.А. Шашуков, Т.И. Куракина

Крупнейший русский учёный — академик Виталий Григорьевич Хлопин — внёс значительный вклад в неорганическую, аналитическую и физическую химии, в химию комплексных соединений и геохимию. Но главное дело всей его жизни связано с проблемами радиоактивности, изучением свойств и поведения радиоактивных элементов. На этот путь Виталия Григорьевича направил его великий учитель и друг Владимир Иванович Вернадский.

В.Г. Хлопину было суждено принять самое активное участие в рождении в России двух новых наук XX века — радиохимии и ядерной химии — и создании новых отраслей промышленности — радиевой, гелиевой и атомной.

В.Г. Хлопин родился в Перми 26 января 1890 года в семье известного в будущем гигиениста профессора Григория Витальевича Хлопина.

В.Г. Хлопин получил блестящее образование: в 1908 г. окончил 12-ю гимназию в Петербурге с золотой медалью; в 1911 г. ему был вручён диплом об окончании Геттингенского университета, а в 1912 г. он получил диплом первой степени об окончании физико-математического факультета Петербургского университета и был оставлен для подготовки к профессорской деятельности при кафедре общей химии, которой заведовал профессор Л.А. Чугаев. Хлопин с детства свободно владел английским, немецким и

французским языками, в будущем к ним добавилось ещё не менее пяти языков [1].

На кафедре профессора Чугаева Виталий Григорьевич прошёл прекрасную школу по неорганической и аналитической химии, занимаясь исследованиями комплексных соединений платины и проводя анализы на редкие элементы.

Из наиболее известных работ, проведённых в то время, следует указать на открытие им совместно с Л.А. Чугаевым гидроксипентаминового ряда комплексных соединений платины (IY), синтез органических соединений селена и теллура, получение простых соединений одновалентного никеля.

Уже в этих первых работах В.Г. Хлопина ярко проявился талант экспериментатора, умение просто и эффективно решать весьма трудные задачи.

На кафедре Чугаева во время первой мировой войны В.Г Хлопин выполнил свою первую технологическую работу по заданию Химического комитета Главного Артиллерийского управления. Им был разработан метод получения чистой платины из русского сырья. В этот же период Хлопин вёл большую работу в Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС). Он участвовал в работе ряда экспедиций, им были написаны обзоры по бору, литию, рубидию, цезию и цирконию, в которых рассматривались вопросы геохимии и практического использования этих элементов.

Всю дальнейшую творческую жизнь В.Г. Хлопина определила его встреча с В.И. Вернадским, который в 1915 г. пригласил его на должность химика-специалиста в организованную незадолго до этого Радиологическую лабораторию академии наук. Виталий Григорьевич вспоминал: "Увлечённый сам открытием радиоактивных элементов и теми перспективами, которые эти открытия раскрывали перед наукой и человечеством, Владимир Иванович заразил своим интересом понемногу и всех своих сотрудников". В.Г. Хлопин отмечал, что он "под его (Вернадского) непосредственным влиянием понемногу превратился из химика-неорганика... в химика-радиолога и отчасти геохимика" [2]. В течение последующих тридцати лет Виталий Григорьевич был связан с Владимиром Ивановичем творческими и дружескими узами.

Уже в 20-е годы Хлопин проявил себя знающим, инициативным и энергичным специалистом. Вскоре он был назначен секретарём Химического комитета военно-химической помощи, а затем председателем Комиссии по светящимся составам.

В 1917 году он принимал участие в работах Съезда по технической обороне государства, где сделал доклад о применении радиоактивных элементов в военной технике и о возможном будущем радиевой промышленности в России [3].

Весной 1918 г. Академии наук было предложено взять на себя организацию первого Радиевого завода в России. В Академии наук был создан специальный Радиевый отдел при КЕПС, который назначил своим уполномоченным по организации Радиевого завода 28-летнего В.Г. Хлопина.

В марте 1920 г. СНХ принял решение об организации завода на базе Бондюжского химического завода на реке Каме, заведующим был назначен молодой, но уже достаточно опытный химик И.Я. Башилов. Шла гражданская война, страна переживала голод и разруху, условия работы на заводе были очень тяжёлыми, работали самоотверженно по 14-16 часов в сутки. Очень сложный состав сырья и отсутствие топлива не давали возможности применить уже известные методы отделения радия от бария, и Виталий Григорьевич предложил заменить метод дробной кристаллизации, требовавший выпаривания растворов, методом дробного осаждения и разделения хлоридов Ra и Ва соляной кислотой на холоду за счёт уменьшения растворимости хлорида бария путём увеличения концентрации одноимённого иона.

В письме Вернадскому от 9 ноября 1921 г. Хлопин писал: "Осталось сделать ещё одно последнее усилие для того, чтобы увенчать труды трёх с половиной лет и получить первый русский радий... Получить конечный заводской продукт, помимо личного для меня интереса, будет иметь решающее значение в деле закрепления всего радиевого дела за Академией наук, за что я тоже по мере сил боролся в течение трёх лет в Ваше отсутствие. Развитие же Радиевого института без всякой связи с Радиевым заводом я себе не представляю, по крайней мере в части химической [4, с.19-21].

Благодаря инициативе и настойчивости Хлопина и его сотрудников в декабре 1921 г. работа была успешно завершена. В результате переработки 110 пудов радиоактивных остатков руды Хлопиным и М.А. Пасвик было получено 4,1 мг высокоактивных препаратов радия [4, с. 66]. Это открыло возможность для широкого развёртывания исследований по радиоактивности, а разработанные Хлопиным, Башиловым и их сотрудниками технологические приёмы послужили основой для создания радиевой промышленности.

В последующие годы и до конца жизни Виталий Григорьевич оставался бессменным консультантом радиевой отрасли.

В январе 1922 г. многолетние усилия Вернадского и его ближайшего соратника Хлопина по организации отечественного центра, объединяющего научные исследования по радиоактивности в России, завершились созданием в Петрограде Государственного Радиевого института (ГРИ) [5]. Первым директором института и заведующим геохимическим отделом был утверждён Вернадский, Хлопин стал заместителем директора и взял на себя руководство химическим отделом, физический отдел возглавил Л.В. Мысовский.

ГРИ по организации, научному составу, объёму и глубине охвата задач уже тогда стоял в первом ряду радиологических центров всего мира, а в Советском Союзе он в 20-30 годы был единственным научным учреждением, ставящим своей задачей всестороннее изучение явлений природной и искусственной радиоактивности. В институте к тому времени сложился коллектив физиков, химиков и геохимиков, с успехом работавших в области радиоактивных процессов и ядерных реакций. "Радиевый институт должен быть сейчас организован так, чтобы он мог направлять работу на овладение

атомной энергией — самым могучим источником силы, к которому подошло человечество в своей истории", — так определил Вернадский основную задачу ГРИ [6]. И ещё: "...Главная часть работ ГРИ обязательно должна быть посвящена научным проблемам, практическое значение которых скажется не в ближайший год или даже годы, а в более отдалённом будущем" [7].

Установка Владимира Ивановича на приоритетное развитие фундаментальных исследований полностью себя оправдала. Только поэтому в небольшом по численности институте смогли сформироваться всемирно известные научные школы и было положено начало развитию новых наук XX века (радиохимии, радиологии, биогеохимии, физики космических лучей, нейтронной физики) и начато изучение радиоактивности внешней среды во всех сферах так называемого "газового дыхания Земли" и определение возраста геологических формаций.

В начале двадцатых годов специалистов — радиологов в России было немного, и Виталий Григорьевич пригласил в Радиевый институт для прохождения дипломной практики несколько студентов из Ленинградского университета, где он с 1924 г. читал лекции по радиоактивности и радиохимии. В их числе были Б.А. Никитин, Е.А. Полесицкий, А.П. Ратнер. Несколько позже в институт пришли И.Е. Старик, М.С. Меркулова, В.И. Гребенщикова, А.Г. Самарцева, А.М. Гуревич, М.Л. Ященко. Все они составили знаменитую когорту ближайших учеников и сподвижников Виталия Григорьевича.

Широкий круг вопросов был изучен В.Г. Хлопиным и его учениками в области геохимии радиоактивных элементов и благородных газов: миграция радиоактивных элементов в земной коре, изучение природных вод, содержащих радиоактивные элементы, определение распределения гелия и аргона в природных газах.

С 1924 г. Виталий Григорьевич состоял членом Гелиевого комитета при ВСНХ, а затем был членом Научно-технического совета по гелию при Госплане СССР и принимал деятельное участие в организации пробного гелиевого завода. Однако основным направлением работ Виталия Григорьевича были фундаментальные исследования в области химии и технологии радиоактивных элементов, которые принесли ему мировую известность.

В области технологии радия В.Г. Хлопиным была создана общая теория процесса дробной кристаллизации, которая легла в основу схемы разделения солей бария и радия на радиевом заводе. Эта теория нашла применение и дальнейшее развитие во ВНИИ химических реактивов и особо чистых химических веществ при получении химически чистых веществ методом перекристаллизации [1].

Виталием Григорьевичем и его школой были разработаны методы изучения процесса изоморфного соосаждения, обеспечивающие достижение состояния равновесия в системах твёрдая фаза — раствор, определено влияние различных факторов на этот процесс, доказана высказанная Виталием

Григорьевичем ещё в 1924 г. идея, что в основе процесса лежит закон распределения вещества между двумя несмешивающимися фазами, носящий теперь имя Хлопина. В последующих работах было показано, что метод изоморфной сокристаллизации может быть использован не только в прикладных целях для выделения радиоактивных элементов, но и для изучения состояния этих элементов в жидкой и твёрдой фазах, и для определения их валентности [1].

"Работы Хлопина по распределению радиоэлементов между кристаллами и раствором электролитов вызвали мощную дискуссию, в которой приняли участие лаборатории О. Гана в Берлине, М. Кюри в Париже и Р. Линда в Миннеаполисе. Особенно длительной она была с лабораторией О. Гана, причём закончилась в основном признанием правильности точки зрения В.Г. Хлопина" [8].

Работы, выполненные учеником В.Г. Хлопина Б.А. Никитиным, показали, что и при распределении микрокомпонента между газовой и изоморфной твердой фазами соблюдается тот же закон, что и при кристаллизации из раствора (закон Никитина). В процессе выполнения этих работ Б.А. Никитиным впервые были получены молекулярные соединения радона и других благородных газов, что открыло новую страницу в химии благородных газов. В работах, проведённых Хлопиным совместно с В.Р. Клокман, было установлено, что при кристаллизации изоморфной твёрдой фазы из расплава распределение микрокомпонента между фазами происходит по закону Хлопина.

Фундаментальные исследования по химии радиоактивных элементов охватили широкий круг вопросов по теории соосаждения и сокристаллизации, изучению состояния, процессов комплексообразования и электрохимии радиоактивных элементов. Они положили начало развитию радиохимических исследований в России и становлению радиохимии как самостоятельной научной дисциплины. Возникли всемирно известные научные школы: В.Г. Хлопина, Б.А. Никитина, И.Е. Старика, А.А. Гринберга, Б.И. Никольского. А уже через какие-то семь-десять лет результаты этих исследований, казавшиеся такими далёкими от потребностей текущей жизни, послужили основой для разработки в кратчайшие сроки технологии выделения плутония из облучённого в реакторе урана.

Несмотря на значительные успехи, достигнутые учёными Радиевого института, положение института было крайне тяжёлым, так как ГРИ получил в своё распоряжение мало приспособленные для работы с радиоактивностью два флигеля бывшего Александровского лицея на Лицейской улице (ныне ул. Рентгена). Вернадский и Хлопин пишут многочисленные письма в Главнауку, Совнарком об улучшении положения института.

В архиве РИ (в папке за 1932 г.) сохранилась уникальная записка Вернадского в Главнауку "О необходимости создания научно-мощного всесоюзного Радиевого института в срочном порядке". В этой записке он

высказывает глубочайшие мысли о процессе построения новой концепции мироздания, о роли государства в этой ситуации, о бережном отношении к талантливой молодёжи. "Одарённая для научной работы молодёжь есть величайшая сила и драгоценное достояние человеческого общества, в котором она живёт, требующая охраны и облегчения её проявлений" [9].

Штат ГРИ был невелик, всего около 60 человек с обслуживающим персоналом, но это был коллектив единомышленников, увлечённых наукой и бесконечно преданных любимому делу и своему гениальному учителю.

Знание двенадцати языков, всемирная известность и нескончаемый поток научной литературы со всех концов мира, поступающий в адрес Владимира Ивановича, делали его кабинет одним из крупнейших центров научного мышления.

Виталий Григорьевич, несмотря на свою молодость, был достойным учеником своего любимого учителя и друга. Круг его научных интересов был очень широк, фундаментальные исследования в области геохимии и радиохимии принесли Хлопину признание мировой научной общественности. А его личное обаяние привлекало к нему талантливых молодых исследователей. Не забывали ГРИ и крупнейшие учёные — его посещали Нильс Бор, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, Ф.А. Панет, Я. Гейровский и др.

После открытия в 1932 г. нейтрона в Радиевом институте стали изготовлять первые в стране радон-бериллиевые источники нейтронов. С применением этих источников Л.В. Мысовским, И.В. Курчатовым и его сотрудниками в Радиевом и Физико-техническом институтах были совместно выполнены первые работы, посвящённые вопросам рассеяния и поглощения нейтронов, — работы, которые положили начало развитию нейтронной физики в нашей стране [10, 11]. Наличие нейтронных источников дало возможность учёным Института начать первые с стране исследования искусственной радиоактивности и химии искусственных радиоэлементов.

В 1934 г. Э. Ферми с сотрудниками подвергли систематическому нейтронному облучению целый ряд элементов, в том числе и уран, и высказали предположение об образовании в результате реакции элемента с порядковым номером 93. И. Ноддак, откликаясь на публикацию Э. Ферми, впервые отметила возможность расщепления тяжёлых ядер под действием нейтронов на несколько больших фрагментов, которые на самом деле являются изотопами более лёгких элементов, не являющихся соседями облучаемого [12].

Дальнейшее изучение химических свойств продуктов искусственного превращения ядер урана под действием нейтронов проводилось в Берлине, Париже и Ленинграде. В Берлине — О. Ганом и Л. Мейтнер, в Париже — И. Кюри с Н. Савич и в Ленинграде — В.Г. Хлопиным и М.А. Пасвик-Хлопиной. Почти четыре года три независимые группы радиохимиков высочайшей квалификации находились в плену выдвинутой Ферми гипотезы

относительно образования трансурановых элементов при облучении урана нейтронами.

В 1935 г. Хлопиным и Пасвик-Хлопиной были начаты первые в стране работы по изучению химической природы продуктов искусственного распада урана. Облучая уранат натрия нейтронами радон-бериллиевого источника, они надеялись получить трансурановые элементы. Они показали, что по своей химической природе продукты с периодами полураспада 13 мин. и 90 мин. следует отнести к трансурановым элементам, причём химически они могут быть отделены друг от друга. Ими был обнаружен пятый продукт с периодом полураспада 3,5 дня, но вследствие очень слабой активности он остался неизученным. В статье, опубликованной в 1936 г., они писали: "В полном согласии с Э. Ферми, О. Ганом и Л. Мейтнер полученные нами данные, касающиеся химической природы обоих продуктов искусственного распада урана, заставляют отнести их к химическим элементам, стоящим в периодической системе по ту сторону урана, т.е. имеющим атомные номера, большие, чем 92" [13]. (В архиве РИ сохранилась рабочая тетрадь Хлопина "Работы по химии ядра", начатая 9/Ш — 1935 г. [14].)

Важнейшим этапом в развитии работ по ядерной физике и ядерной химии было создание в РИ первого в Европе ускорителя ядерных частиц. В 1932 г., когда в Беркли началось сооружение циклотрона, учёный совет ГРИ при поддержке Хлопина принял предложение Л.В. Мысовского о сооружении в Институте циклотрона с полюсами магнита диаметром 100 см. В марте-июне 1937 г. был получен первый пучок ускоренных протонов с энергией 3,2 МэВ, а к началу 1939 г. были получены пучки нейтронов, интенсивность которых была эквивалентна радон-бериллиевому источнику с 3,5 кг радия. Строительство и пуск ускорителя были предметом постоянного внимания руководителей Института и особенно Хлопина. Это хорошо видно из писем Хлопина Вернадскому [4, с. 37, 38, 54].

Ядерная физика в конце 30-х годов переживала бурное развитие, рождались новые представления о строении материи, о явлениях радиоактивного распада ядер. Именно тогда проявилась интуиция Хлопина как крупного учёного, как организатора, критически оценивающего перспективы будущего.

В 1938 г. В.Г. Хлопин (уже исполняя обязанности директора РИ) так определил его задачи: "Вся деятельность Радиевого института укладывается в рамки одной большой проблемы, которую можно озаглавить "Проблема атомного ядра и её приложения". Он выделял шесть направлений разработки этой проблемы: 1) изучение внутриядерных сил и свойств элементарных частиц; 2) изучение ядерных реакций и методов получения искусственных радиоэлементов; 3) конструирование и эксплуатация мощных установок для получения ионных пучков большой интенсивности и энергии; 4) изучение естественных и искусственных радиоэлементов; 5) изучение проявления

ядерных процессов в природе; 6) применение радиоактивных элементов и элементарных частиц в народном хозяйстве [15].

Открытие Гана и Штрассмана вызвало необыкновенный интерес среди учёных-ядерщиков. В январе 1939 года в актовом зале РИ прошёл семинар. С сообщением об открытии берлинской группой процесса деления ядер урана под воздействием нейтронов выступил Хлопин. Общим было чувство важности этого открытия, профессиональное понимание необходимости изучения нового ядерного процесса как радиохимическими, так и физическими методами.

В.Г. Хлопин немедленно вносит изменения в ранее составленный план работы Института. Основные проблемы сводились им к решению следующих задач: эксплуатация и усовершенствование циклотрона для получения нейтронных пучков высокой интенсивности, изучение химии искусственных радиоэлементов, постановка и развитие исследовательских работ по наиболее важной проблеме — делению тяжёлых ядер [16]. Хлопин писал: "Открытие явления деления ядер урана и тория под действием нейтронов заставило обратить внимание на определение химической природы продуктов распада урана и выделение вопроса о существовании трансуранов" [17].

И.В. Курчатов в Ленинградском Физико-техническом институте и Л.В. Мысовский в Радиевом институте направили усилия возглавляемых ими коллективов на изучение особенностей процесса деления ядер, выяснение условий, при которых в уране может возникнуть цепная реакция.

Устойчивая работа циклотрона, достаточно высокая интенсивность пучка заряженных частиц, достигнутая к началу 1939 г., позволили физикам Радиевого института сразу же включиться в изучение новой проблемы.

Первая отечественная работа по делению ядер, выполненная Л.В. Мысовским и А.П. Ждановым, была представлена в "Доклады АН" 7 марта 1939 г., т.е. всего через два месяца после известия об открытии деления ядер [18]. Среди первых работ были и работы Н.А. Перфилова, К.А. Петржака [19, 20].

Химики под руководством Хлопина проводили изучение химической природы продуктов деления урана и тория [21-24]. Хлопин писал: "Из различных схем деления особое место занимает открытая мною совместно с М.А. Пасвик и Н.В. Волковым схема, при которой радиоактивные благородные газы являются не первичными обломками, а образуются в процессе радиоактивного распада первичных обломков и стоят в середине цепи распада... Нами же, независимо от других исследователей, среди продуктов деления урана впервые весной 1939 г. были обнаружены радиоактивные изотопы брома, теллура и сурьмы" [25]. Эти же авторы предприняли попытку идентифицировать трансурановые элементы. В письме Вернадскому в апреле 1939 г. Хлопин с присущей ему осторожностью сообщил: "Опыты, которые удалось пока поставить, использовав циклотрон, делают весьма вероятным,

что трансураны всё же существуют, то есть распад урана под действием нейтронов течёт различными путями" [4, с. 54].

Научные открытия в области физики ядра Вернадский воспринял как решающий шаг к началу освоения атомной энергии. В 1940 г. Владимир Иванович совместно с Хлопиным обращается к академику-секретарю Отделения геолого-географических наук АН СССР П.И. Степанову со специальной запиской. В ней, в частности, говорилось: "Открытие в 1939 г. явления деления урана под действием нейтронов, сопровождающееся выделением огромных количеств энергии... впервые вплотную поставило вопрос о возможности использования внутриатомной энергии для нужд человечества... Поэтому мы просим Отделение геолого-географических наук обсудить вопрос о состоянии поисков и разведки урановых месторождений, наметить план развёртывания этих работ и войти в Правительство с проектом соответствующих мероприятий" [26].

Это предложение было принято, и 25 июня 1940 г. состоялось историческое заседание, на котором с совместным докладом, посвящённым необходимости срочного исследования урановых руд в СССР, выступили Вернадский и Хлопин. "Сейчас, — сказал Хлопин, — стоит срочный вопрос о создании сырьевой базы урана. Нужно, чтобы к моменту, когда вопрос о техническом использовании внутриатомной энергии будет решён, мы располагали необходимыми запасами этого металла" [27].

В архиве РИ сохранилось письмо В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана и В.Г. Хлопина в Совнарком от 12 июня 1940 г. Они писали: "...Мы полагаем, что уже сейчас назрело время, чтобы правительство, учитывая важность решения вопроса о техническом использовании внутриатомной энергии, приняло ряд мер, которые обеспечили бы Советскому Союзу возможность не отстать в решении этого вопроса от зарубежных стран..." [28]. Ранее с аналогичным письмом авторы обращались и в Президиум АН [29].

Глубокое убеждение в необходимости принятия Правительством неотложных мер побудило Вернадского идти на приём к В.М. Молотову и лично проинформировать его о государственной важности урановой проблемы, а также о развёртывании этих исследований в США. И 30 июля 1940 г. Президиум АН СССР в соответствии с решением Правительства постановил: "В целях дальнейшего развития в АН работ по изучению урана и возможности использования его внутриатомной энергии образовать при Президиуме АН комиссию по проблеме урана и установить основные задачи комиссии.". В состав Комиссии вошли 14 виднейших учёных-радиологов, минералогов, физиков, химиков, геологов, энергетиков. Председателем комиссии был назначен В.Г. Хлопин, членами — С.И. Вавилов, А.П. Виноградов, П.Л. Капица, Г.М. Кржижановский, И.В. Курчатов, П.П. Лазарев, Л.И. Мандельштам, А.Е. Ферсман, А.Н. Фрумкин, Ю.Б. Харитон, Д.И. Щербаков; секретарями — Д.И. Щербаков и Л.В. Комлев" [30].

Урановой комиссией был намечен широкий план работ, включающий создание сырьевой базы урана, получение чистых соединений и металлического урана, разработку методов разделения изотопов, изучение механизма деления и возможностей развития цепной реакции. Незадолго перед войной этот план был значительно расширен.

В первые же дни деятельности комиссии остро встал вопрос о получении чистых урановых соединений и металлического урана. В стране почти не было препаратов урана. Сырьевые ресурсы оставались практически не выясненными. До 1940 г. не было получено ни одной тонны отечественного урана, в то время как только в Канаде производилось в год свыше 400 тонн урановых соединений.

Одним из первоочередных вопросов деятельности Урановой комиссии явилась организация специальной сырьевой бригады под руководством А.Е. Ферсмана. От РИ в состав бригады входили В.Г. Хлопин и Л.В. Комлев. В октябре комиссия выехала в Ташкент для ознакомления со среднеазиатскими месторождениями урана, а в ноябре на расширенном заседании Комиссии был заслушан отчёт Сырьевой бригады [31]. Ферсман в своём сообщении подчеркнул, что на ближайшее время надо говорить о реальной добыче 10 т урана в год к 1942-1943 годам при условии организации рудника и постройки радиевого завода.

В архиве РИ сохранились протоколы заседаний Урановой комиссии, из которых ясно, что проблема урана приобрела характер хорошо продуманного, организованного, широко научного поиска. Наступившая война прервала деятельность Урановой комиссии, однако трудно переоценить важнейшую мобилизационную роль и значение этого подготовительного предвоенного этапа в решении урановой проблемы в нашей стране, связанного с деятельностью Урановой комиссии и её председателя Хлопина.

Летом 1941 г. Радиевый институт был эвакуирован вместе с учреждениями АН СССР в Казань. В Ленинграде оставалась небольшая группа сотрудников.

Хлопин, помимо своих основных обязанностей, вёл в Казани большую работу в качестве первого заместителя академика-секретаря Отделения химических наук АН СССР, неоднократно исполнял обязанности вице-президента АН СССР. Он был также председателем химической секции Комиссии по мобилизации ресурсов Поволжья и Прикамья. Наиболее крупным достижением казанского периода являются работы по получению светящихся составов постоянного действия с использованием вместо радия радиотория. За работу "Радиоторий, его получение и использование для оборонных целей", имеющую исключительно важное значение, В.Г. Хлопин, Б.А. Никитин, А.Е. Полесицкий и С.А. Фридман были удостоены в 1943 г. Государственной премии [32].

В.Г. Хлопин прекрасно понимал важность и перспективность продолжения работ по проблеме урана. Несмотря на официальное указание председателя тематической комиссии, Президиума АН СССР академика

А.Ф. Иоффе о прекращении в 1941 г. работ по этой проблеме как не имеющей актуального значения, Хлопин считал это направление исследований одним из важнейших, и в течение 1941-1942 гг. работы по этой проблеме продолжались фактически только в Радиевом институте [33]. Работа проводилась по 4-м основным направлениям [34]: 1) работы по технологии переработки Табошарской урановой руды; 2) поиски и разведка урановых месторождений; 3) исследования по химии и физической химии урана; 4) изучение процессов деления урана под действием нейтронов[35].

В 1943 г. под руководством П.И. Лукирского К.А. Петржаком и М.Л. Орбели проводилось изучение процесса деления урана под действием нейтронов. И.И. Гуревичем и И.Л. Померанчуком была построена общая теория резонансного поглощения нейтронов блоками и вычислена зависимость резонансного поглощения от температуры [35].

В 1942 г. прекратились публикации по ядерным исследованиям в западной научной прессе. Среди учёных росло убеждение, что в Германии и США ведутся разработки по использованию атомной энергии в том числе в военных целях. В конце 1942 г. на совещание в ГКО были вызваны И.В. Курчатов, А.Ф. Иоффе, А.П. Капица, В.Г. Хлопин и В.И. Вернадский. Они единодушно подтвердили важность этой проблемы и необходимость создания при ГКО специального научного центра по атомной проблеме [36].

Вот как описывает последующие события очевидец, заведующий лабораторией Радиевого института М.Г. Мещеряков: "В конце 1942 г. Иоффе сообщил узкому кругу учёных, что Государственный Комитет Обороны (ГКО) принял решение о возобновлении в Академии наук СССР работ по "урановой проблеме", с тем чтобы в крайне сжатые сроки дать ответ на вопрос, возможно ли использовать энергию, выделяемую при делении ядер урана, в военных целях. Хлопина крайне насторожило, что в этом решении не содержалось никаких указаний относительно уже проводимых в Радиевом институте под его руководством работ в этой области. Прождав около месяца, он 15 января 1943 г. направил вице-президенту АН СССР А.Ф. Иоффе и уполномоченному ГКО С.В. Кафтанову пространное письмо, в котором изложил своё видение атомной проблемы в целом и разработанный им общий план первоочередных задач, содержавший 13 пунктов, указав при этом, что решением некоторых из них уже занимается РИ" [37, 38].

"...Таким образом, основными и первоочередными являются работы по разделению или обогащению природной смеси изотопов урана и практически оценка методов, которые могут быть для этой цели применимы.

Из работ собственно по ядерной физике первоочередными представляются работы, которые окончательно решили бы вопрос о возможности или невозможности осуществления незатухающей цепной реакции деления на медленных и быстрых нейтронах в неразделённой смеси изотопов урана.

Отсюда вытекает следующий общий план работ:

1. Опытная проверка предложенного проф. Ланге метода центрифугирования для разделения изотопов урана в целях выяснения оптимальной конструкции и габаритов установки, а также снятия технологических показателей.

2. Получение на этой установке некоторого количества чистого изотопа урана с массой 235, достаточного для точного определения основных характеризующих течение процесса деления величин.

3. Экспериментальная проверка возможности разделения изотопов урана, исходя из известных его соединений методом термодиффузии, как в газах, так и в жидкостях или в растворе.

4. В случае положительного ответа по пункту 3-му подбор наиболее выгодной конструкции и габаритов установок и снятие технологических показателей.

5. Получение некоторого количества сильно обогащённой смеси изотопов урана, достаточной для получения более точных значений основных величин, характеризующих процесс деления.

6. Критический разбор и оценка возможности применения ионных методов для разделения изотопов урана.

7. Просчёт и экспериментальная проверка возможности разделения изотопов урана методом диффузии.

8. Получение необходимых для перечисленных экспериментальных работ по разделению изотопов и пригодных для этого соединений урана (UF_6, UCl_5) в надлежащих количествах (1—2 кг).

9. Поиски других соединений урана, которые по своим свойствам могли бы быть использованы для экспериментальных работ по разделению изотопов.

10. Окончательная экспериментальная проверка невозможности течения незатухающей цепной реакции деления урана для природной смеси изотопов на металлическом уране высокой чистоты.

11. Окончательная экспериментальная проверка невозможности той же реакции на медленных нейтронах.

12. Получение надлежащего количества металлического урана высокой чистоты для выполнения пункта 10 (3 кг).

13. Разработка удобного способа получения UF_6 в больших количествах.

Из указанных выше работ Радиевый институт под моим общим руководством мог бы взять на себя работы, перечисленные в пунктах 3, 4, 5, 8 (совместно с ИОНХом), 9, 10 (совместно с ЛФТИ), 11, 12 и 13" [38]. Из этого документа видно глубокое понимание В.Г. Хлопиным атомной проблемы в целом, а не только её химической части.

Взрывы бомб в Хиросиме и Нагасаки ознаменовали начало "холодной войны" против Советского Союза. Правительство было вынуждено форсировать работы по созданию ядерного оружия. Научным руководителем Атомного проекта был назначен И.В. Курчатов. Контроль за всеми работами осуществлял Л.П. Берия. Радиевому институту была поручена разработка

технологии выделения плутония из облучённого урана и курирование проектных, строительно-монтажных работ, а затем пуска и освоения производства на 1-ом Плутониевом заводе. Следует подчеркнуть необычность и сложность задачи, поставленной в то время перед учёными. Необходимо было выделить граммы плутония из тонн облучённого урана, причём требования к чистоте выделенного продукта по тем временам были фантастическими.

Разработка технологической схемы выделения плутония из облучённого урана началась в Радиевом институте в начале декабря 1945 г. В качестве основных и первоочередных Институт должен был решить следующие задачи:

1. Проверку различных методов выделения нептуния и плутония, основанных на явлениях соосаждения с носителями, а также применение органических растворителей для выделения этих элементов.

2. Выбор и разработку на основании исследований, предусмотренных в пункте 1, принципиальной схемы промышленного получения плутония.

3. Составление технологической части проектного задания объекта.

4. Составление совместно с проектной организацией проектного задания. Срок исполнения — 1 июля 1946 г., впоследствии был сокращён до 10 июня.

5. Представление запасных принципиальных схем промышленного получения плутония. В свою очередь, к схеме предъявлялись жёсткие требования по отношению к очистке плутония, полноте их выделения, необходимости дистанционного управления процессом и т. д.

6. Кроме основных пяти заданий РИАНу по его собственному предложению были утверждены на 1946 г ещё следующие темы:

7. Разработка физико-химических методов разделения изотопов элемента 92, из них, в первую очередь: а) разработка фотохимического метода разделения; б) комбинированного эффузионного-термодиффузионного метода.

8. Изучение химических свойств элементов 93 и 94.

9. Поиски новых летучих соединений элемента 92.

10. Помощь Комитету по делам геологии в поисках месторождений урана и тория.

11. Разработка методов определения изотопного состава тяжёлых элементов, в частности, урана [39].

В 1944-1945 гг. в РИАНе после возвращения из эвакуации был восстановлен циклотрон и начали проводить первые радиохимические исследования на облучённом уране с "импульсными" количествами нептуния и плутония. Значительная часть работ проводилась на нептунии-237, выделенном из облученного урана на фториде лантана. Это был первый нептуний, полученный в стране на циклотроне.

С самого начала в Радиевом институте были развёрнуты работы в нескольких направлениях, что давало возможность одновременно разраба-

тывать различные варианты технологии и в кратчайшие сроки оценить их перспективность. На первом этапе работы были созданы три параллельно работающие бригады. Первая бригада в составе: В.Г. Хлопин (руководитель), А.П. Ратнер (заместитель), В.И. Гребенщикова, А.М. Гуревич, М.А. Пасвик, А.Г. Самарцева, М.А. Ященко-Ковальская, А.Ф. Прокудина, А.К. Пермякова, М.И. Якунин, Н.Ф. Волков, В.А. Яковлев, К.А. Петржак — руководитель физиков. Бригада В.Г. Хлопина взяла на себя разработку ацетатно-фторидной технологии, а также получение первых препаратов этих элементов и разработку принципиальной технологической схемы промышленного получения плутония. Во вторую бригаду входили сотрудники лабораторий члена-корреспондента А.А. Гринберга (руководитель): Б.В. Птицын, Ф.М. Филинов, В.К. Лаврентьев. Эта группа исследователей осуществляла проверку оксалатно-купферонового метода и разработку варианта схемы по висмут-фосфатному методу с регенерацией урана. Исследования экстракционных методов выделения и очистки нептуния и плутония с помощью органических растворителей проводились в лаборатории члена-корреспондента АН СССР Б.А. Никитина (руководитель) В.М. Вдовенко и Т.В. Ковалёвой. Эта третья группа проводила проверку методов, основанных на экстракции органическими растворителями и разработку схемы с применением диэтилового эфира. Позднее, с 1946 г., большое участие в работах по данной проблеме принимала группа под руководством Б.П. Никольского с составе В.И. Парамоновой, П.М. Чулкова, А.Ф. Вьюгиной, А.М. Трофимова, Е.П. Казанской. Они разрабатывали процесс растворения урановых блоков [39].

Первый плутоний в Радиевом институте в количестве 208 имп/мин был выделен В.Г Хлопиным, Б.А. Никитиным, А.П. Ратнером, В.И. Гребенщиковой, В.М. Вдовенко, А.М. Гуревич, Т.В. Ковалёвой. Физики К.А. Петржак и М.И. Якунин определили пробег альфа-частиц плутония-239 и разработали метод его радиометрического определения.

Пуск циклотрона Института Атомной энергии позволил и в Москве проводить работы по накоплению плутония и разработке различных схем его извлечения. Работа проводилась под руководством Б.В. Курчатова, был разработан лантан-сульфатный метод выделения плутония и одновременно с химиками Радиевого института Б.В. Курчатов и Г.Н. Яковлев получили первые импульсные количества плутония-239 [40].

Исследование химических свойств нептуния и плутония, в первую очередь, было направлено на изучение их поведения при реакциях окисления и восстановления, так как все методы выделения и очистки основывались на отличии в поведении различных валентных состояний урана, нептуния и плутония и повторении окислительно-восстановительных циклов. В качестве окислителя испытывались бромат калия, персульфат аммония, бихромат калия. Из восстановителей опробовались бисульфат натрия и двуокись серы, Согласно заданию, разработка принципиальной схемы выделения

плутония должна была закончиться к 25 мая 1946 г. Однако, благодаря энтузиазму и напряжённой работе коллектива сотрудников Радиевого института, работа по экспериментальной проверке методов выделения плутония и урана была в основном проведена уже в первом квартале 1946 года.

Все три разрабатываемые технологические схемы оказались пригодными для выделения плутония и регенерации урана. Ацетатно-фторидная технология, разрабатывавшаяся под непосредственным руководством В.Г. Хлопина, давала более устойчивые результаты, была в то время наиболее надёжной, предъявляла менее жёсткие требования к аппаратуре и реактивам; проектные работы по ней также шли с опережением. Эта схема была положена в основу принятой технологии, а остальные разработки использовались в качестве запасных вариантов.

В 1946 г. была представлена технологическая часть проектного задания на первую промышленную технологию извлечения плутония из облучённого урана. Оно было составлено Хлопиным, Никитиным, Ратнером и технологами ГСПИ Я.И. Зельберманом и Н.К. Хованским. Зильберман осуществлял руководство и технологической частью проекта.

Первое проектное задание радиохимического завода, получившее название "Синяя книга", включало в себя результаты всех выполненных к тому времени научных исследований и описание принципиальной схемы производства, аппаратурное оформление, вопросы дезактивации отходов. "Синяя книга" долгое время была настольной книгой сотен химиков, физиков и технологов, которые направлялись в рождающуюся атомную промышленность, проходили стажировку в РИ и НИИ-9 [41].

Технология, предложенная РИ, проверялась и совершенствовалась на укрупнённой установке № 5 в НИИ-9. Кроме сотрудников НИИ-9, в работе участвовали сотрудники лаборатории № 2, ГЕОХИ, РИАНа, технологи-проектанты. Общее научное руководство работами на установке (начальник М.В. Угрюмов) осуществлял заместитель директора РИАНа Б.А. Никитин. Основные результаты, полученные в лабораторном масштабе в РИ, были подтверждены на этой установке, они оперативно учитывались в проектных проработках по созданию завода. В августе 1948 г. для наблюдения за окончанием монтажа и наладки оборудования завода была создана специальная пусковая бригада. Руководителем бригады был назначен Никитин.

Первый радиохимический завод атомной промышленности вступил в строй в 1948 г. Из воспоминаний М.Г. Первухина: "К нашему большому удовлетворению, пуск и работа химического завода прошли вполне нормально. Здесь следует отметить большую заслугу академика В.Г. Хлопина и его ближайших сотрудников из Радиевого института, которые разработали вполне устойчивый и надёжный химический процесс отделения плутония от урана и радиоактивных осколков" [42].

Работы учёных РИ на комбинате не закончились с пуском завода. Ближайший помощник Хлопина Никитин в 1948 г. был назначен заместителем

научного руководителя комбината и руководил всей химической частью проекта; Ратнер с 1948 по 1952 гг. был научным руководителем первого в стране Плутониевого завода; Старик возглавлял всю научно-организационную работу; с 1952 и до середины 60-х годов бессменным научным руководителем завода был Б.П. Никольский. В течение двух лет на заводе как промышленный цех работало и выдавало продукцию отделение эфирной экстракции. Начальником был Ю.Н. Лаврентьев, а научным руководителем В.М. Вдовенко [42].

Героический труд большого коллектива учёных, проектантов, производственников и строителей завершился наработкой значительного количества плутония и испытанием в августе 1949 г. ядерного оружия.

Нельзя не вспомнить ещё об одной очень ответственной работе, которая выполнялась в институте при жизни Виталия Григорьевича. В конце лета 1947 г. В.Г. Хлопин получил от Совнаркома задание разработать метод определения коэффициента использования ядерного горючего при ядерных взрывах. Выполнение этой работы было поручено Ю.М. Толмачёву при общем руководстве И.Е. Старика. Комплексная структура института ещё раз показала здесь своё преимущество. При выполнении задания совместно трудились сотрудники физических лабораторий К.А. Петржака, А.Н. Протопопова, Б.С. Джелепова и химических лабораторий Ю.М. Толмачёва и В.Н. Ушатского. Задание было успешно выполнено. Разработанные радиохимические и ядерно-физические методики применялись практически во всех проводимых в Советском Союзе экспериментах. Эти же методики, а также развитые в дальнейшем новые их варианты, широко использовались при анализе объектов окружающей среды [43].

Следует ещё раз подчеркнуть масштабность личности Виталия Григорьевича не только как выдающегося учёного, но и прекрасного организатора, общественного деятеля и педагога. Много сил отдано им становлению и развитию Радиевого института, радиевой, гелиевой и атомной промышленности. Он был членом многих государственных Комитетов и Комиссий, руководил деятельностью Отделения химических наук АН СССР, был членом редакционных советов ряда химических издательств, председателем Ленинградского отделения Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева, консультантом нескольких химических предприятий.

Огромна заслуга В.Г. Хлопина в подготовке кадров радиохимиков, в создании советской радиохимической школы. В 1945 г. им была создана первая в стране Кафедра радиохимии в Ленинградском Государственном университете.

Правительство высоко оценило выдающиеся заслуги Виталия Григорьевича в развитии науки и техники. Ему было присвоено звание Героя Социалистического труда, заслуженного деятеля науки и техники. Он был награждён тремя орденами Ленина и трижды удостоен звания Лауреата Государственной премии.

Виталий Григорьевич был принципиальным и твёрдым в своих убеждениях и поступках человеком. Как и Владимир Иванович, в трудные годы Хлопин защищал своих учеников, помогал нуждающимся. Он всегда стремился принять удар на себя, ручаясь за человека, с которым работал и которому доверял. Он много сделал для Э.К. Герлинга и, можно сказать, спас Л.Н. Богоявленского, семья которого подверглась репрессиям и была назначена к высылке. Их вернули уже с дороги исключительно благодаря ходатайствам Хлопина [44].

В 1945 г. после получения ответственного задания Хлопину передали от Л.П. Берии письменное указание, что из штата института к этой работе не может быть допущен и должен быть уволен ряд сотрудников, химиков и физиков. Виталию Григорьевичу стало плохо. Когда он пришёл в сознание, он сказал: "Передайте Лаврентию Павловичу, пусть начинает с меня". Это было проявлением настоящего, неподдельного героизма! В те времена Берия мог начать и с него. В результате, к счастью, не исключили ни одного из указанных в письме сотрудников института [45].

Радиевый институт был любимым детищем Хлопина. Благодаря Виталию Григорьевичу в институте царила особая доброжелательная атмосфера, неподдельный энтузиазм, увлечённость наукой. Хлопин был доступен для всех, справедливо строг, обаятелен, проявлял интерес к каждому сотруднику, очень любил ходить по лабораториям и с интересом наблюдать за ходом эксперимента. Но когда Виталий Григорьевич работал в лаборатории вместе с Марией Александровной, его старались не беспокоить. Все сотрудники относились к нему с любовью и благоговением.

В 1938 г. Вернадский рекомендовал Президиуму Академии наук назначить своим преемником на посту директора Радиевого института одного из лучших своих учеников и сподвижников — Хлопина. "Я счастлив, — писал Вернадский, — что мне суждено иметь возможность передать дорогое мне дело, которым я занимаюсь более 30 лет, в такие руки" [46]. Действительно, дальнейшее развитие Радиевого института и его участие в решении атомной проблемы в значительной степени определялось личностью Виталия Григорьевича Хлопина — его талантом, глубокими знаниями, умением правильно выбрать направление научных исследований.

Виталий Григорьевич умер 10 июля 1950 г. На его похороны приехало очень много народа. Процессия медленно шла через весь Ленинград до Александро-Невской Лавры, где и был похоронен академик В.Г. Хлопин.

После смерти Хлопина Радиевому институту было присвоено его имя и была установлена премия им. В.Г. Хлопина. Позже его именем была названа одна из улиц Ленинграда.

ЛИТЕРАТУРА

1. "Академик В.Г. Хлопин: Очерки, воспоминания современников". Составители: М. Жилкина, Е. Ильенко, М. Ковальская , Г. Синицына, Н. Шиманская Л.: Наука, 1987

2. "Воспоминания В.Г. Хлопина о В.И. Вернадском". Архив музея РИ.

3. **В. Вдовенко.** "Академик В.Г. Хлопин. Научная деятельность". М.: Госатомиздат, 1962, с. 34.

4. Письма В.Г. Хлопина к В.И. Вернадскому (1916-1943). М, Л: Изд-во АН СССР, 1961, с. 19-21, 37, 38, 54, 66.

5. **Г. Синицына.** "В.И. Вернадский — основатель Радиевого института". Научное и социальное значение деятельности В.И. Вернадского. Сборник научных трудов под общей редакцией академика А.Л. Яншина. Л: Наука, Лен.отд., 1989, с. 306-309.

6. Архив РИ, Ф. 315, оп.1, д.9, л. 18-19.

7. Архив РИ, Ф. 315, оп.1, д.10, л.19.

8. Архив РИ, Ф. 819, оп. 2, ед. хр. 45.

9. Архив РИ, Ф. 315, оп. 1, д.17, л. 24-25.

10. **И. Курчатов, Л. Мысовский, Г. Щепкин , А. Вибе,** "Эффект Ферми в фосфоре". ДАН СССР, 1934, т. 3, с. 221.

11. **Л. Мысовский, И. Курчатов, Н. Добротин, И. Гуревич,** "Возможность расщепления ядер нейтронами с испусканием трёх тяжёлых частиц". ДАН СССР, 1934, т. 3, с. 230.

12. **И. Ноддак (Бурмин),** "Об элементе 93". Успехи химии, 1935, т. IY, вып. 1, с. 66-71

13. **В. Хлопин, М. Пасвик-Хлопина** "Академику Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности". М: Изд-во АН СССР, 1936, т.1, с. 539-546.

14. Архив РИ, Ф. 819, оп. 1, д. 17, с. 1-29.

15. **В. Хлопин** "Задача, структура и деятельность Радиевого института АН СССР". Вестник АН СССР, 1938, № 7-8, с. 32-41.

16. Известия АН СССР, 1940, № 2, "О работах Радиевого института АН СССР в 1939 г."

17. **В. Хлопин**, "Радиевый институт//Отчёт о работе АН СССР за 1939 г.". М, Л: Изд-во АН СССР, 1940, с. 28-31.

18. **А. Жданов, Л. Мысовский,** "Наблюдение ядер отдачи при бомбардировке урана нейтронами". ДАН СССР, 1939, т. 23, с. 136.

19. **Н. Перфилов** "Расщепление ядра урана нейтронами". ДАН СССР, 1939, т. 23, с. 893.

20. **Н. Дмитриев, К. Петржак, Н. Перфилов,** "О возможности образования α-радиоактивных ядер при распаде радиохлора". ДАН СССР, 1939, т. 23, с. 622.

21. **В. Хлопин, М. Пасвик-Хлопина, Н. Волков,** "Деление ядер урана под действием нейтронов и вопрос о существовании трансуранов". ДАН СССР, 1939, т. 24, № 2.

22. **В. Хлопин, М. Пасвик-Хлопина, Н. Волков,** "О новом типе деления ядра урана". ДАН СССР, 1939, т. 24, № 7, с. 665-666.

23. **А. Полесицкий, К. Петржак,** "Попытка обнаружить образование трансуранов, сопровождающееся их делением". ДАН СССР, 1939, т. 24, № 9, с. 854.

24. **В. Хлопин,** "Химическая природа продуктов деления тяжёлых ядер". Изв. АН СССР, 1940, серия физ., вып.2, с. 305.

25. Архив РИ, Ф. 819, оп. 1, д. 22, л. 30.

26. Архив РИ, Ф. 518, оп. 4, д. 68, л. 15.

27. В. Хлопин, "Использование внутриатомной энергии". Известия, 1940, 26 июня.

28. Архив РИ, Ф. 5, оп. 1, д. 23, л. 1 (1940).

29. Архив РИ, Ф. 5, оп. 1, д. 33, л. 3 91940).

30. Архив АН, Ф. 518, оп. 4, д.68, л. 3.

31. Архив РИ, Ф. 5, оп. 1, д. 23, л. 88.

32. Архив РИ, Ф. 315, оп. 3, д. 1, л. 55-56; д. 3, л. 35. "Правда" от 24.03.1943 г., № 79.

33. Архив РИ, Ф. 1, д. 1, л. 1.

34. Архив РИ, Ф. 819, оп. 3, д. 1, л. 40-50.

35. Архив РИ, Ф. 1, оп. 1,д. 104, л. 5.

36. Архив РИ, Ф. 819, оп. 1, д. 1, л. 66-67.

37. Архив РИ, Ф. 1, д. 1, л. 1.

38. Архив РИ, Ф. 1, д. 1, л. 1. М. Мещеряков, "В. Хлопин: Восхождение на последнюю вершину". Природа, 1993, № 3, с. 102-103.

39. **Л. Лазарев, Л. Комлев, Г. Синицына, М. Ковальская,** "Хлопин и урано-плутониевая проблема". Радиохимия, 1982, № 4, с. 408-409.

40. **В. Вдовенко, З. Ершова, Б. Колычев, В. Фомин,** "Советская атомная наука и техника". М: Атомиздат, 1967.

41. **З. Ершова,** "Мои встречи с академиком В.Г. Хлопиным (1924-1950гг.)/ Академик Хлопин: Очерки, воспоминания современников". Л. Наука, 1987, с. 117.

42. **А. Круглов** "К истории атомной науки и промышленности". Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии, М., 1993 № 12, с. 46, 48.

43. **Г. Синицына, Е. Шашуков,** "В.Г. Хлопин — жизненный и творческий путь". Радиохимия, 1990, № 6, с. 6.

44. **Н. Ушакова**, "Виталий Григорьевич Хлопин". Ответственные редакторы — Б. Никольский, Г. Синицына, М. Наука, 1990.

45. Из воспоминаний Г.М. Толмачёва. Архив музея РИ.

46. Архив АН, Ф. 518, оп. 4, д. 45, л. 10.

ЗИНАИДА ВАСИЛЬЕВНА ЕРШОВА — ОДНА ИЗ ПЕРВЫХ УЧЁНЫХ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

М.В. Владимирова

Среди известных учёных первого поколения, принимавших участие в создании атомного и водородного оружия, яркой звездой сияла Зинаида Васильевна Ершова — заслуженный деятель науки и техники РСФСР, профессор, доктор технических наук, трижды лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии АН СССР им. Хлопина по радиохимии. В 1995 г. Зинаида Васильевна умерла на 91 году жизни. Она была одна из немногих учёных, которая к началу работы над проектом имела хорошие специальные знания и большой опыт работы с радиоактивными материалами. История показывает, что Зинаида Васильевна Ершова была талантливейшим организатором науки.

З.В. Ершова в 1929 г. окончила МГУ по специальности "радиоактивность". С тех пор в течение 60 лет её жизнь была связана с научными и технологическими проблемами выделения из облучённых материалов различных радиоактивных элементов. В 1930 — 1931 гг. она принимала участие в пуске радиевого цеха на комбинате твёрдых сплавов в Москве и получении отечественного радия.

В 1937 г. Ершова была командирована в институт Радия в Париж в лабораторию Марии Кюри, где проводила научную работу под руководством Ирэн Жолио-Кюри. Благодаря этому имя Зинаиды Васильевны было овеяно легендой, в научных кругах её называли "русская мадам Кюри". Это справедливо. Так было угодно судьбе, что большая часть жизни Ершовой была связана с радием и полонием — двумя элементами, открытыми супругами Кюри.

С 1938 по 1945 гг. с перерывом в два года во время войны Ершова руководила лабораторией "радия" в Государственном институте редких металлов — ГИРЕДМЕТе. Там перед её лабораторией в 1943 г. И.В. Курчатов и А.П. Завенягин поставили задачу получения металлического урана. В 1944 г. в лаборатории З.В. Ершовой впервые в нашей стране был получен слиток чистейшего металлического урана весом до 1 кг, который использовался физиками И.В. Курчатова для ядерно-физических исследований. С тех пор Зинаида Васильевна — ведущий учёный атомной промышленности. Её авторитет среди учёных, на предприятиях отрасли, в министерстве был необычайно велик.

Зинаида Васильевна очень интересно рассказывала о том, как первый образец урана в окружении большой свиты учёных — мужчин она возила в Кремль, в Совет Министров к Берии.

С 1946 г. З.В. Ершова работала в НИИ-9 (далее — ВНИИ неорганических материалов), одним из инициаторов создания которого она являлась. В институте З.В. Ершова организовала первую радиохимическую лабораторию, перед которой была поставлена задача — создание технологии выделения плутония из облучённых в ядерном реакторе урановых блоков. Создание этой технологии решалось силами учёных НИИ-9, Радиевого института и других институтов Академии наук. С 1946 по 1948 гг. научным руководителем по этой проблеме в НИИ-9 была З.В. Ершова. В декабре 1947 г. в её лаборатории были получены весовые количества плутония, 73 микрограмма.

Большую роль З.В. Ершова и первый директор института В.В. Шевченко сыграли в создании в институте полупромышленной установки У-5, работающей на облучённых в реакторе урановых блоках. В 1948 г. на установке было получено 300 миллиграмм плутония. У-5 сыграла большую роль в становлении радиохимической промышленности в нашей стране. Технологические показатели, полученные на У-5, были использованы при проектировании первого радиохимического завода по переработке стандартных урановых блоков, который был пущен в 1948 г. на комбинате "Маяк".

В последующие годы З.В. Ершова возглавляла работы по двум технологическим проблемам в обеспечение создания атомного и водородного оружия. Это — проблема выделения полония из облучённого висмута и трития из облучённых литиевых материалов.

До 1960 г. полоний-210 использовался в нейтронных запалах атомного оружия как инициатор реакции деления. В 1946 г. перед радиохимиками института была поставлена задача разработки технологии выделения этого элемента из облучённого в ядерном реакторе висмута. Эта задача решалась в лаборатории З.В. Ершовой, которая многие годы была научным руководителем этой проблемы. Первая технология получения полония заключалась в растворении висмута в азотной кислоте, осаждении полония на металлических порошках меди или висмута с последующей возгонкой полония в вакууме на металлические подложки. Для наработки полония, необходимого

для создания оружия, в институте при лаборатории Ершовой была создана установка, которая проработала до конца 1951 г. В 1952 г. по разработанной технологии на заводе "Авангард" в Арзамасе-16 было создано производство полония. Пуск его, получение необходимых технологических показателей, создание условий безаварийной работы проходил и под постоянным руководством Зинаиды Васильевны, которая всегда находила оптимальные и реально выполнимые решения, не перекладывая решение сложных и трудных вопросов на кого-либо. Она была непререкаемым авторитетом.

В начале пятидесятых годов перед НИИ-9 была поставлена проблема разработать технологию извлечения трития, необходимого для создания водородного оружия, из облучённых литиевых материалов. Эта задача решалась коллективами нескольких лабораторий, в том числе и лаборатории З.В. Ершовой, которая была соруководителем вместе с К.А. Большаковым и В.П. Пешковым. Институтом была проделана колоссальная работа, которая завершилась пуском в 1953 г. промышленного цеха по получению газообразного трития. З.В. Ершова часто бывала на производстве, руководила вместе с А.С. Никифоровым, будущим академиком и третьим директором нашего института, пусковыми и исследовательскими работами.

Под руководством Зинаиды Васильевны в НИИ-9 получено большое количество уникальных, оригинальных научных данных по ядерно-физическим, физико-химическим свойствам трития, создана научная школа учёных, — которая слава богу, ещё теплится, — обладающих опытом работы с этим уникальным радионуклидом.

Можно отметить, что Зинаида Васильевна в шестидесятилетнем возрасте начала со своими сотрудниками работать над проблемой тритиевого цикла термоядерных реакторов и установок. Эта работа в институте продолжается.

Я надеюсь, что из изложенного материала очевидно, что Зинаида Васильевна Ершова является не только одним из первых, но одним из выдающихся учёных Российской атомной науки. К сожалению, Академия наук не дала ей звания члена-корреспондента, и она переживала это. Но для нас, её учеников и всех, кто работал вместе с ней и встречался с нею, это не имеет значения. Для нас более важно то, что в своей жизни и работе она следовала лучшим традициям российской науки — честь и достоинство, принципиальность, стремление к новому.

Г.Н. ФЛЕРОВ И СТАНОВЛЕНИЕ СОВЕТСКОГО АТОМНОГО ПРОЕКТА[1]

Ю.Н. Смирнов

"Если у тебя есть еще одна попытка — ты не проиграл!.."

Из бесед с Г.Н. Флеровым

29 октября 1949 года за подписью Председателя Совета Министров СССР Иосифа Сталина вышло закрытое Постановление № 5070-1944 о награждении наиболее отличившихся участников "за успешное выполнение специального задания Правительства". Под заданием понимались разработка и испытание первой советской атомной бомбы, которое состоялось на Семипалатинском полигоне ровно двумя месяцами ранее. Даже награжденные не видели полного текста Постановления — каждого из них ознакомили только с соответствующей выпиской из многостраничного документа в части, их касающейся, и без права снимать копию. Предупредили: о полученной награде не следует распространяться... Выписка под номером 62 о награждении К.И. Щелкина, В.И. Алферова, Я.Б. Зельдовича, Г.Н. Флерова и Н.Л. Духова выглядела так (документ воспроизводится с копии, "адресованной" Г.Н. Флерову, поэтому в нем приводится размер денежной премии, установленной для него):

---

[1] Вариант статьи автора, опубликованный в журнале "Вопросы истории естествознания и техники" № 2, 1996 г., стр. 100-125. См. также: Р.В. Кузнецова, Н.В. Селезнева. "Тревожный колокол" Георгия Флерова. Письма Г.Н. Флерова 1941-45 гг. Курчатовский институт. История атомного проекта, вып. 13, стр. 5, Москва, 1998 г.

СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР
ПОСТАНОВЛЕНИЕ № ...
от "29" октября 1949 г. Москва, Кремль.

ВЫПИСКА:

За успешное выполнение специального задания Правительства Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

ЩЕЛКИНА Кирилла Ивановича, профессора, доктора физико-математических наук, АЛФЕРОВА Владимира Ивановича, инженера, ЗЕЛЬДОВИЧА Якова Борисовича, члена-корреспондента АН СССР, ФЛЕРОВА Георгия Николаевича, кандидата физико-математических наук

— представить к присвоению звания Героя Социалистического Труда;

ДУХОВА Николая Леонидовича, инженера, Героя Социалистического Труда

— представить к награждению второй медалью "Серп и Молот".

Премировать Флерова Г.Н. суммой 150.000 рублей.

Построить за счет государства и передать в собственность Щелкина К.И., Духова Н.Л., Алферова В.И., Зельдовича Я.Б. и Флерова Г.Н. дачу каждому.

Премировать Щелкина К.И., Духова Н.Л., Алферова В.И., Зельдовича Я.Б. и Флерова Г.Н. автомашиной "Победа" каждого.

Присвоить Щелкину К.И., Духову Н.Л., Алферову В.И., Зельдовичу Я.Б. и Флерову Г.Н. звание лауреата Сталинской премии первой степени.

Предоставить Щелкину К.И., Духову Н.Л., Алферову В.И., Зельдовичу Я.Б. и Флерову Г.Н.:

— право на обучение своих детей в любых учебных заведениях СССР за счет государства;

— право (пожизненно для них, их жен и до совершеннолетия для их детей) на бесплатный проезд железнодорожным, водным и воздушным транспортом в пределах СССР.

Председатель Совета Министров Союза ССР И. Сталин

Советский атомный взрыв 29 августа 1949 года поверг Америку в шок, в одно мгновение лишив ее монополии на обладание атомным оружием. Одновременно он стал триумфом для страны, еще не оправившейся от варварского нашествия фашистов. И если первый американский атомный взрыв 16 июля 1945 года означал, что человечество вступило в опасную эпоху абсолютного оружия, то с первым взрывом советской бомбы начался отсчет времени долгой и разорительной ядерной гонки между двумя сверхдержавами, полностью изменившей мир, технику и военные доктрины.

Только единицам в нашей стране было известно, что на Семипалатинском полигоне была взорвана копия первой американской атомной бомбы, информацию о которой сумела получить советская разведка. Кроме высших руководителей страны и атомного проекта об этом знали только основные

исполнители гигантской работы — И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон, К.И. Щелкин. Когда несколько лет назад я расспрашивал Юлия Борисовича Харитона, кто же еще из наших разработчиков ядерного оружия был посвящен в эту тайну, он, помолчав, ответил: "Кажется, Зельдович... Но и то не уверен."

На рубеже 90-х годов в отечественных средствах массовой информации стали появляться тенденциозные, а то и просто оскорбительные, скандальные высказывания о значении "атомного" шпионажа для советских физиков. Между тем тайна, связанная с первым взрывом под Семипалатинском, сохранялась до 1992 года.

Ее обнародовал Ю.Б. Харитон.[1] Он разъяснил, что для первого отечественного эксперимента предпочтение было отдано отработанной, проверенной схеме американского атомного устройства, полученной советской разведкой, хотя к тому времени наши физики имели собственные обоснованные предложения по более совершенной и эффективной конструкции заряда (она успешно была испытана уже в следующем полигонном эксперименте). Такое решение было продиктовано максимальной ответственностью перед страной и исключало излишний риск неудачи при проведении первого взрыва.

В прессе и на телевидении разгорелись дискуссии.

Вместе с похвалами разведке нотки разочарования раздались в адрес наших физиков. Не каждый был готов понять, что перед лицом возникшей еще в годы войны атомной угрозы для страны появилась не просто новая научно-техническая проблема, относящаяся только к компетенции ученых, а неотложная задача первостепенной государственной важности, для скорейшего решения которой были задействованы все структуры и ресурсы государства, вся его мощь. И нет ничего зазорного в том, что жизненно важная задача была быстро решена путем эффективного сочетания научно-технического творчества специалистов и усилий разведки.

В какой-то мере в аналогичной ситуации оказались и США при разработке своей атомной бомбы. Стремясь опередить Гитлера, они не стали замыкаться национальными рамками и без колебаний прибегли к помощи лучших физиков-эмигрантов из Европы, а также пошли на кооперацию с Англией и Канадой. Никому не придет в голову принижать потенциал американской науки того времени. Но Ральф Лэпп — авторитетный ученый, много лет проработавший в научно-исследовательских учреждениях военных органов США, писал в 1953 году: "Если бы мы пользовались услугами одних лишь чистокровных американцев, мы погубили бы наш атомный проект... Почти несомненно, что без таких талантливых "иностранцев" как Ферми, Бете, Вигнер и Теллер — я ограничиваюсь здесь только несколькими именами, — нам потребовалось бы гораздо больше времени для изготовления бомбы... В принципе она (атомная бомба — прим. Ю.С.) была импортирована из Европы."[2]

Тайна первого атомного взрыва на Семипалатинском полигоне охранялась слишком долго — то ли из опасности "засветить" советскую агентурную сеть, то ли из нашей еще недавней гипертрофированной практики засекречивать все и вся или, наконец, из пропагандистского рвения представлять наше общество и нашу науку только как самые передовые в мире, как "образцовые маяки". И это не могло не привести, когда тайна открылась, к моральным издержкам и к спекуляциям вокруг российской науки. Теперь страсти, кажется, улеглись, и каждый понимает: не располагай наша страна первоклассными, выдающимися учеными, — атомная проблема не была бы решена, какую бы сверхценную информацию из-за рубежа ни поставляли советские разведчики. Разведка сыграла важную, но вспомогательную роль [3].

Но сопутствовал ли бы успех нашим ученым, если бы информация из-за рубежа не поступала? Несомненно. В пользу этого говорят и предвоенные достижения в области атомной науки в нашей стране, и тот факт, что советские ученые, кое в чем даже опережая своих американских коллег, самостоятельно создали термоядерное оружие [4].

Послушаем еще раз Р. Лэппа: "Сразу после окончания войны произошла забавная вещь. Родился миф о существовании атомного секрета... Здесь нужно раз и навсегда установить, что атомная бомба не составляет секрета... Как однажды заявил в конгрессе сам генерал Гроувз (руководитель работ по изготовлению американского атомного оружия — прим. Ю.С.), "великим секретом в действительности было то, чего мы не могли сохранить в тайне, — это был тот факт, что бомба взорвалась... Действительно секретным было не то, что делалось в Лос-Аламосе, то есть не конструирование самой бомбы, а приготовление материала для нее, а это — очень трудное дело" [5].

Но предприятия, на которых производились в Советском Союзе материалы для атомной бомбы, не могли быть поставлены из-за рубежа...

Среди тех, кто внес выдающийся вклад в успех советского атомного проекта и, что не менее важно, в его становление, был Георгий Николаевич Флеров. Легко представить, какую радость и ликование переживал он вместе с остальными участниками семипалатинского эксперимента ранним утром 29 августа 1949 года, понимая, что грандиозное дело, предпринятое в интересах безопасности и могущества страны, завершилось полным успехом. Можно догадаться, какие чувства испытывал он, 36-летний молодой человек, знакомясь с выпиской из постановления, подписанного Сталиным. И в каждом из этих двух случаев Георгий Николаевич не мог не вспомнить драматический апрель 1942 года: европейская часть Союза полыхает и задыхается под натиском гитлеровских полчищ, а он, 29-летний лейтенант, пишет с фронта свое последнее отчаянное письмо лично Сталину (см. также [6]), убеждая его принять срочное решение о возобновлении отечественных работ по урану...

Не мог не вспомнить и о другом своем письме, которое он, уезжая на полигон для участия в испытании 29 августа 1949 года, оставил на московской

квартире для своей жены. Она должна была вскоре вернуться в Москву из Памирской экспедиции. И он представлял, какая радость ждет ее от встречи с их четырехлетним сыном и каким жутким диссонансом окажется это оставленное письмо.

"Хотя Георгий Николаевич, — вспоминает Анна Викторовна, — не рассказывал мне, чем он занимается, в очередной раз уезжая на "объект" ("Арзамас-16" — прим. Ю.С.), я уже что-то понимала и догадывалась. Когда состоялось испытание нашей первой атомной бомбы, и было заявление ТАСС по этому поводу, я была на Памире или уже на пути в Москву и ничего не знала. Дома я сразу увидела письмо и очень теперь жалею, что его не сохранила. Он вообще практически письма не писал. А с другой стороны, я считаю, они касаются лично меня и никого больше... В этом письме, которое было довольно длинным, он писал, что уезжает и что, возможно, наша жизнь существенно изменится. Причем из тона письма я поняла — изменится не в лучшую, а в худшую сторону. Было что-то вроде прощания. Это было очень тяжелое письмо. Меня охватила тревога — происходит что-то серьезное... Но тут пошли какие-то разговоры, какие-то звонки и я поняла: то, что я предполагала, — произошло и произошло благополучно..."[7]

Февральским вечером 1988 года я сидел в небольшом кабинете Георгия Николаевича в его московской квартире по соседству с церковью Всех Святых на Соколе. Развернув ко мне свое кресло, стоящее у письменного стола, и глядя в глаза, он неторопливо, отделяя каждое слово, негромко, иногда переходя почти на шепот, рассказывал:

"Странная это версия, что Флеров, будучи когда-то на фронте, приехал в Воронеж, зашел в библиотеку, увидел — нет публикаций в иностранных журналах по атомной физике — и написал Сталину. Получается, кто-то еще теперь поедет в библиотеку, увидит — чего-то там нет, и тоже напишет Сталину?.. Сложнее вспомнить, как все начиналось. И, конечно, это не было чем-то внезапным, "дельта-функцией". Все шло постепенно. Когда началась война, все или большинство из нас считали — война будет молниеносной: либо немцы нас сомнут, либо мы сумеем их победить. И Курчатов так считал. Оснований для этого было много. Он собрал нас и сказал: "Думайте сами, как вы можете помочь фронту." Но в отличие от Игоря Васильевича, мы ничего не знали: я кончил институт три года назад, Панасюк — дипломник, Войтовецкий — студент, Никитинская — аспирантка...

А перед войной мы собирались и обсуждали, читали, следили, что делают физики на Западе. После открытия деления урана посыпались работы. Мы с Петржаком опубликовали спонтанное деление. Это большая вещь и нам казалось, на Западе должны откликнуться: проверить, уточнить, а, может быть, и пойти дальше. Ведь мы сделали работу только для двух элементов. Молчание настораживало. И потом это низкопоклонство, которое

было и сейчас где-то в пятках еще остается: раз они молчат, значит, — недоверие у нас. Косо на нас стали поглядывать. Как всегда: мол, ученики Курчатова, Курчатов — ученик Иоффе. А тот известен тем, что много ошибался. Но его ошибки были связаны с тем, что в то время не были подготовлены ни он сам, ни мы, ни наука и ни промышленность. Потом оказывалось, что на самом деле это не ошибки, а начало важнейших направлений. Это относилось к тонкослойной изоляции, к полупроводникам и к многому, многому иному." [8]

Странное молчание на Западе по поводу открытия спонтанного деления настораживало все сильнее. Но теперь, с началом войны, продолжать заниматься атомной наукой было невозможно. Было ясно: быстрых результатов для фронта тут не последует. Курчатов стал заниматься защитой кораблей от мин, Петржак был мобилизован, Панасюк оказался в армии, Войтовецкий и Флеров записались в ополчение.



Предвоенная фотография Г.Н. Флерова

Георгий Николаевич продолжал: "Когда формировались части ополчения, встал вопрос, куда идти, где затыкать прорывы немцев. В это время тяжело было под Лугой. Лейтенант, который давал направления, посмотрел на нас и сказал: "Э-э-э... Ты, Володя (В.М. Глаголев — также из Физтеха, с 50-х годов сотрудник Курчатовского института — прим. Ю.С.), и ты, Георгий, — вы же институт кончали. Пойдете в ополчение — вас убьют. Мы вас лучше подучим. За 3-4 месяца кончите курсы инженеров. Вас все равно убьют. Но хоть польза будет..." И нас спешно направили на курсы инженеров в Военно-воздушную академию, которая размещалась в

Авиационном городке, — там, где теперь находится ленинградский аэропорт Пулково. Ее бомбили, и наша учеба началась с того, что мы упаковывали ящики. А в августе с одним из последних эшелонов, под обстрелами и бомбежкой, через Москву, академия была эвакуирована в Йошкар-Олу. И вот там, на месте, занимаясь учебой, я вновь и вновь возвращался к тому, что мы делали в Физико-техническом институте, в Ленинграде. Вспоминал работы Харитона и Зельдовича. И, как-то для меня, быть может, состоялся "переход количества в качество". Я тогда "на пальцах" считал и понял, что бомба с использованием урана-235 или плутония (наши физики уже знали тогда из публикаций об открытии "эка-рения" и "эка-осмия", т.е. по современной терминологии, соответственно, нептуния и плутония [9,10] -прим. Ю.С.) может быть реализована в "пушечном варианте" — все целиком зависит от того, какой период спонтанного деления у этих элементов. Наивная или не наивная была идея "пушечного варианта", но возникли и кое-какие идеи насчет сжатия, при котором будет уменьшаться критмасса. Эквивалент — эти 20 тысяч тонн тротила — тоже было легко сосчитать. Я уже думал тогда не столько о том, что сделаем мы, а как попытаться узнать, не делают ли немцы. Действительно, в то время казалось: если кто-то и сможет сделать атомную бомбу, то это будут не американцы, не англичане, не французы, а именно немцы. У них была великолепная химия, технология получения металлического урана, они вели эксперименты по разделению изотопов урана на центрифугах и располагали великолепными физиками. Наконец, у немцев была тяжелая вода и запасы урана. И первое чувство было такое, что немцы могут сделать эту штуку. А к чему бы это привело, было ясно..."

И Г.Н. Флеров, еще находясь в Йошкар-Оле, начал действовать. Тем более что с декабрьским наступлением наших войск под Москвой и разгромом немцев он понял — "война уже не молниеносная". Поэтому нельзя пренебрегать задачами, которые хотя и потребуют большого времени и больших затрат, но они должны быть в центре внимания специалистов и руководителей страны. Он входит в контакт с парторгом своего факультета в академии военинженером 3 ранга Б.И. Брустиным и рассказывает ему, а затем и начальнику факультета о волнующих его проблемах. Наконец, настойчиво добивается, чтобы его командировали в Казань для "выработки плана мероприятий" в "малом" президиуме Академии наук и со специалистами ленинградского Физтеха, которые находились там же в эвакуации.

"Конечно, и Брустин, и начальник факультета, — улыбнулся Георгий Николаевич, — понимали, что сейчас не до того: враг у стен Москвы. И, как люди, далекие от атомной физики, сомневались. Да и потом нас, курсантов, было три сотни человек и что получится, если каждый станет настаивать — командируйте меня туда-то, а меня туда-то. Наконец, что это за "план мероприятий"? Создание нового оружия? Но писать так в командировочном предписании нельзя! Они всячески меня пытали, стараясь

понять, не ошибаюсь ли я, не фантазирую ли. Но, видимо, почувствовали — что-то есть. Понимали: после наступления под Москвой война уже будет затяжная. И решили: пусть меня послушают специалисты. Брустин очень помог. Позднее, через много лет, он писал, что это был его звездный час, когда он оказался как-то причастен к начальному этапу становления нашего атомного проекта."



Группа слушателей курсов "КУИНЖ"
Во втором ряду справа: Г.Н. Флеров, рядом с ним В.М. Глаголев

Рассказывает полковник-инженер в отставке, кандидат технических наук Б.И. Брустин: "В одном из отделений краткосрочных курсов усовершенствования инженеров (КУИНЖ) при академии факультета электроспецоборудования самолетов и аэродромов оказался и Георгий Николаевич Флеров, пришедший из рядов народного ополчения. В процессе обучения курсант Флеров был внимательным, старательным и производил на преподавателей определенное впечатление глубокими знаниями и вдумчивостью, причем особенно отличался он при проведении лабораторных работ по исследованию и ремонту авиационных приборов. Скажем прямо, он не отличался военной выправкой, но обнаруживал какую-то внутреннюю собранность и способность к непрестанной умственной работе.

Надо признать, что режим куинжевцев был крайне напряженным. Распорядок дня совсем не оставлял времени не только для собственных исследований, но просто для посторонних размышлений. С подъема до отбоя — в строю. Все действия — только в строю: физзарядка, столовая, учебные занятия, переходы между казармой, учебным и лабораторным корпусами, обязательная самоподготовка, строевые и физические занятия, служба внутреннего наряда и гарнизонные караулы. В течение всего дня использовались любые поводы для усиления воинского воспитания...

И вот в такой непривычной и просто трудной для него обстановке курсант Флеров не только добросовестно выполнял свой воинский долг, успешно осваивая программу переподготовки, но и сохранил целеустремленную способность в нахлынувшем потоке событий осмысливать происходящее с наиболее широких позиций, руководствуясь самыми высокими соображениями.

Можно было заметить, что он охвачен какой-то постоянной заботой, погружен в непрестанные размышления...

Однажды в конце 1941 г. курсант Флеров обратился ко мне как к секретарю партийного комитета факультета с просьбой уделить ему время и внимание для важной беседы. Рядовой Флеров сообщил, что до войны работал в области ядерной физики и располагает некоторыми сведениями о работах немецких ученых-физиков в области разработки и создания атомной бомбы. По его представлениям, достигнутый уровень развития ядерной физики позволяет приступить к практическому решению этой задачи. Эта мысль волнует и тревожит его, т.к. в случае удачи и успеха немецких физиков это явится угрозой не только для нашей Родины...

Слушая объяснения курсанта Флерова, я почувствовал, что передо мною серьезный ученый-физик, заслуживающий большого доверия и внимания. На мое предположение относительно того, что все необходимые работы в этой области у нас в стране уже ведутся, Флеров дал отрицательный ответ: он знает всех физиков, которые могли бы этим заняться. Но они все разбросаны по стране, воюют или занимаются иными оборонными делами.

До моего сознания дошла важность доводов Флерова и его тревога за судьбы Родины. В этой обстановке необходимо было предпринять срочные, безотлагательные меры. И я сказал: "Самое верное — написать вам обоснованное письмо на имя И.В. Сталина. Только он сможет решить такую важную, масштабную задачу. Напишите!"

Флеров ответил, что он уже размышлял об этом и согласен написать такое письмо. Но сначала ему необходимо побывать в Казани, где находится "малый" президиум Академии и кое-кто из знакомых физиков. Он попросил оказать ему содействие в получении командировки в Казань.

Этот разговор произвел на меня сильное впечатление... В тот же день я обратился к начальнику факультета Н.М. Кадушкину, подробно рассказал ему о беседе с Флеровым и подчеркнул необходимость и важность его

командировки в Казань. Но добиться командировки оказалось делом сложным. Время было военное и никаких одиночных командировок рядовым не полагалось. Кроме того, у командования возникли определенные опасения, что находящийся вне строя рядовой, еще не приобретший необходимой строевой подтянутости и воинской молодцеватости, может оказаться легкой добычей патрулей Казанского военного коменданта. В течение недели длились переговоры с начальником факультета. Наконец, под мою личную ответственность оформили командировочные документы и Флеров смог уехать в Казань. Всю последующую неделю я провел в тревожном ожидании результатов этой не совсем обычной командировки. Вернувшись из поездки, Флеров меня разыскал. По его виду чувствовалось, что он доволен поездкой, и он подробно рассказал о своих встречах...

Через некоторое время, к новому 1942 году, Флеров успешно окончил КУИНЖ с присвоением ему воинского звания техника-лейтенанта. Вскоре он был назначен в авиаполк действующей Армии и отбыл для прохождения службы в 90 разведывательную эскадрилью сначала в Луганск, затем Воронеж, Касторную, Старый Оскол" [11].

Итак, 17 декабря 1941 года, как это видно по отметкам на его командировочном предписании, Г.Н. Флеров прибыл в Казань. Он должен был строго выполнять "Обязательные правила для командировочных", не допуская "каких-либо отклонений от прямого пути следования или остановок в промежуточных пунктах следования по собственному желанию". "Правила" предупреждали, что "за уклонение от регистрации и несвоевременную явку к месту службы виновные подвергаются ответственности в дисциплинарном или уголовном порядке".

20 декабря Флеров сделал доклад на семинаре в присутствии некоторых членов "малого" президиума АН СССР и актива ленинградского Физико-технического института. В аудитории находились А.Ф. Иоффе, В.Г. Хлопин, П.Л. Капица, Д.Г. Алхазов, Л.А. Арцимович, И.И. Гуревич, возможно, Я.Б. Зельдович. Но не было ни И.В. Курчатова, ни Ю.Б. Харитона...

Георгий Николаевич рассказывал мне: "Семинар проходил в каком-то маленьком конференц-зале, в университете. Реакция Капицы была очень положительная, и много позже при наших встречах он целовал меня и вспоминал о том памятном событии. Арцимович отнесся как-то недоверчиво. Гуревич, изучавший в то время возможности применения гелия в качестве замедлителя, сказал при обсуждении, что вот, Георгий Николаевич не упомянул, а ведь для осуществления цепной реакции потребуется (не шуточное дело!) 150000 тонн гелия. От такой реплики многое меняется... Результат семинара был такой, что пока заниматься не нужно. Тем не менее, Абрам Федорович все-таки почувствовал: силы беречь надо. В Казани я вновь побывал в библиотеке — нет ли откликов о спонтанном делении. Молчание. Молчание по всей атомной тематике. Подозрение, что не все

так просто, переросло в уверенность. Затем была библиотека уже в Воронеже..."

Примечательны воспоминания И.И. Гуревича об этом семинаре и о выступлении Г.Н. Флерова: "Слушали его очень внимательно, с огромным уважением. В своей курсантской форме да еще с его необычайным энтузиазмом и подвижностью он выглядел очень милым, симпатичным петушком. Очень хорошо и аргументировано говорил. Иоффе его знал блестяще, и уровень доверия был очень высокий. Всех настораживали определенные факты и, в частности, что еще до начала войны публикации по урановой тематике на Западе прекратились.

От семинара осталось впечатление, что это очень серьезно и основательно, что работу по урановому проекту надо возобновить. Но шла война. И у меня абсолютно нет уверенности, чем, скажем, завершилось бы тайное голосование, если бы на семинаре пришлось решать, нужно ли немедленно начинать работы или же начинать их через год или два. Была проявлена осторожность. И, наоборот, — молодец Георгий Николаевич! Он действовал со всем энтузиазмом и был очень настойчив" [12].

Даже в личной переписке того периода Г.Н. Флеров не обходит молчанием "больную" для него тему. В одном из писем И.С. Панасюку он досадует: "Раскинуты мы сейчас по всему Советскому Союзу; у каждого своя жизнь, своя работа, свои сомнения. Но, мне кажется, нужно стараться тебе, И.В. (Курчатову — прим. Ю.С.) и мне снова вернуться в Физико-технический институт, где все-таки можно действительно продуктивно работать... Пишу все это и чувствую себя человеком как будто отделенным от действительности толстым слоем ваты. Под Москвой немцы... Все-таки, вероятно, это ошибка наша, и главным образом А.Ф. Иоффе, что мы оставили урановую проблему"[13]. Ему же в другой раз написал: "Сейчас я уже окончил курсы воентехников, получил 2 кубаря... Параллельно с этим пытаюсь убедить наших научных руководителей, что, несмотря на войну, мы обязаны продолжать работу над ураном. В случае удачи смогу отозвать из действующей армии 3-4 человека и получу разрешение на вывоз из Ленинграда оставленного там оборудования" [14]. Наконец, еще через несколько месяцев, 5 апреля 1942 года пишет в открытке: "Все еще ношусь с дикими идеями возобновления работы над ураном. Пока занимаюсь псевдотеоретическими измышлениями — расчет прохождения цепной реакции на быстрых нейтронах и другие подобные же вещи... Как отнесешься к тому, чтобы возобновить работу над ураном?" [15]

Но главные усилия Г.Н. Флерова были сосредоточены на другом.

Поняв, что работа над урановой проблемой даже в условиях кровопролитной затяжной войны не терпит отлагательств, он пишет одно за другим несколько страстных писем С.В. Кафтанову, И.В. Курчатову и, наконец, И.В. Сталину. Он был одержим и настойчив. И я вспоминаю, как во время одной из наших прогулок по тенистым улочкам знаменитой подмосковной

Жуковки он, делясь впечатлениями о только что прочитанной книге, обронил, видимо, цитируя, близкую ему по духу замечательную мысль: "Если у тебя есть еще одна попытка — ты не проиграл!.."

Некоторые из этих его писем до сих пор не найдены. И даже не восстановлены хотя бы фрагментарно. Не раз вместе с Георгием Николаевичем мы ломали голову, как выйти на их след и где найти хотя бы крошечную зацепку. Но все было безрезультатно. При этом он проявлял равный энтузиазм в поиске и оригиналов тех писем, текст которых он смог восстановить по своим черновикам, желая, чтобы именно оригиналы заговорили. И заговорили в полную силу. Особый интерес представляют до сих пор ненайденное первое его письмо Сталину, о котором упоминается в письме С.В. Кафтанову, отправленном в ноябре 1941 года, как и неизвестное письмо С.В. Кафтанову, которое было послано Г.Н. Флеровым в январе 1942 года. Возможно, нынешняя практика большей открытости архивов в конце концов и приведет к желанному успеху.

Нельзя не видеть, насколько богаты по содержанию и насколько ярки и эмоциональны письма Г.Н. Флерова, публикуемые в приложении. Круг вопросов, которые он затрагивает, необычайно широк, а его целеустремленность просто поразительна. Читатель не может не почувствовать яростный пафос и невероятную одержимость автора, его полную убежденность в правильности предлагаемого им пути. Он понимает необычность своего шага и просит помощника Сталина до представления своего письма "великому вождю и учителю" "исправить орфографию и стилистику и перепечатать его на машинке". Время покажет, увидим ли мы когда-нибудь оригинал этого письма, и какие на нем будут кремлевские "отметины"...

Флеров понимал, что с появлением атомного оружия "в военной технике произойдет самая настоящая революция". Переживая за судьбу страны и обращаясь со столь энергичным письмом к Сталину, он сознавал, какому огромному риску себя же и подвергает: "Мне очень тяжело писать, зная, что к моему письму с полным правом может быть применен "трезвый" подход. Ну что там бушует Флеров? Занимался наукой, попал в армию, хочет выкарабкаться оттуда, ну и, используя уран, засыпает письмами всех и вся, неодобрительно отзывается об академиках, делая все это из самых эгоистических личных соображений".

Теперь, по прошествии более полувека с момента появления писем, не имеют значения содержащиеся в них неточности, которые либо несут на себе печать своего времени, либо условий, в которых они писались. Ведь писались они не в тиши лаборатории, а в спартанских условиях, когда полыхала война. Писались на одном дыхании, в расчете, как выразился Георгий Николаевич в письме Курчатову, "в основном на будущее".

Его убежденность возрастает от письма к письму. И, если в первом письме Кафтанову он говорит, например, что "вероятность решения задачи... выражается 5-10 процентами", то во втором (о чем сообщил и Сталину)

он указывает уже на "10-20% вероятность удачного решения вопроса, и эта величина ни в коем случае не приуменьшена".

Чрезвычайно важным обстоятельством является то, что в письме Курчатову Флеров упоминает элемент 94-239 или 94 как возможный материал для атомной бомбы. Ведь это плутоний, который тогда еще не имел современного названия и впоследствии действительно был использован в конструкциях атомных зарядов имплозийного типа! Причем, по выражению И.В. Курчатова, "отрывочные замечания" разведки о плутониевом следе (он называл тогда будущий плутоний "эка-осмием-239") в американском "Манхэттенском проекте" стали предметом анализа Игорем Васильевичем только весной 1943 г.! Курчатов писал 22 марта 1943 г. М.Г. Первухину — заместителю Сталина: "Имея в виду эти замечания, я внимательно рассмотрел последние из опубликованных американцами в "Physical Review" работ по трансурановым элементам (эка-рений-239 и эка-осмий-239) и смог установить новое направление в решении всей проблемы урана... Перспективы этого направления необычайно увлекательны" [16]. Как известно, это направление и привело к успеху советских физиков 29 августа 1949 года.

Обращаясь к Курчатову, Флеров пишет о возможной коварной роли "спонтанных нейтронов". Благодаря известному отчету Г. Смита [17], мы знаем, что при работе над американской атомной бомбой изучение спонтанного деления ядер стало одним из важнейших направлений экспериментальных исследований. Как и у нас. Там же, в письме Курчатову, Георгий Николаевич, говоря об атомном взрыве, обмолвился: "Как будто существенно то, что будут испускаться рентгеновские лучи". Эти лучи оказались не только реальностью. Позднее, уже с 50-х гг., они стали частью "механизма" при срабатывании современных водородных бомб, в которых атомный взрыв используется как инициатор и именно как источник "работающего" излучения (см. [4]).

Г.Н. Флеров формулирует первоочередные задачи, предугадывает масштаб затрат на реализацию проекта ("стоимость бомбы составит 10^9 рублей", письмо Курчатову) и пишет Кафтанову: "Нужно все время помнить, что государство, первое осуществившее ядерную бомбу, сможет диктовать всему миру свои условия". (Как тут не вспомнить, что профессор Хартек и его ассистент доктор Грот из Гамбурга, обращаясь в 1939 году в военное министерство фашистской Германии с инициативным письмом о необходимости работ над атомной бомбой, отметили: "Та страна, которая первой сумеет практически овладеть достижениями ядерной физики, приобретает абсолютное превосходство над другими". [18])

Наконец, последнее, отчаянное обращение к Сталину имело, оказывается, не только свою логическую подоплеку как знак, завершающий серию безответных усилий и писем Г.Н. Флерова. Были еще и чисто человеческие обстоятельства, о которых он сам рассказал мне летом 1988 года: "Написать Сталину меня подтолкнуло письмо, пробившееся из блокадного Ленинграда.

Там оставалась мама, она не работала и поэтому получала блокадные 125 грамм. На этот раз писали соседи. Мама шла по улице, от слабости потеряла сознание и упала. Через какое-то время ее доставили домой две девчушки. Это было, по-моему, 12 марта. Но хлебных карточек у мамы не оказалось. В тех условиях восстановить карточки было невозможно. И она в страшных муках погибла. Я понял, что гибнут десятки тысяч безвинных людей. Видел на фронте, как зверствуют немцы... И чтобы наперед уберечь, спасти людей, помочь им, я должен был что-то делать. Ведь все, что происходило, было результатом того, как и что мы не доделали своевременно. Поэтому решил: я должен написать и, если вы меня не слушаете сейчас, — будете жалеть потом... Во всяком случае, надо было пытаться сделать все, что можешь. И сейчас так поступать нам не мешало бы, потому что страна попала в такое положение, когда будут очень большие сложности".

У Георгия Николаевича при всей серьезности его писем проскользнула и надежда на помощь нашей стране в области атомной науки со стороны союзников (письмо Курчатову, а также Кафтанову): "Если все-таки думать о какой-то подготовке к проведению работы, то очень хорошо было бы запросить англичан и американцев о полученных ими за последнее время результатах". Но подобная просьба, если бы она состоялась, была обречена. Не случайно один из видных участников американского атомного проекта В. Вайскопф сказал: "Политическая реальность была не в наших руках. И, несмотря на то, что Советский Союз был нашим союзником в борьбе с Гитлером, беда в том, что существовали глубокие расхождения, глубокое недоверие между двумя сторонами даже в ходе войны." [19] И наилучшее тому подтверждение — драматическое столкновение Нильса Бора с У. Черчиллем, который категорически возражал против того, чтобы сообщить России какие-либо данные о результатах работ в области атомной энергии. [20].

С одним из писем Г.Н. Флеров переслал И.В. Курчатову и не публиковавшуюся до сих пор рукопись своей статьи "К вопросу об использовании внутриатомной энергии", написанной на страницах "в линеечку" обычной ученической тетради. Игорь Васильевич не расставался с нею. После его кончины она была обнаружена у него дома в ящике письменного стола.

Эта замечательная статья вызывает особое восхищение одной из своих последних страниц, на которой (и это письмо "гуляло" тогда открытой почтой!) Георгий Николаевич дал принципиальную схему так называемого "пушечного" варианта атомной бомбы и привел соответствующий рисунок. Там же он выдвинул важнейшую идею: "Для быстрого изменения критерия устойчивости на достаточно большую величину мы считаем наиболее целесообразным использование сжатия активного вещества". А в конце рукописи добавил: "Игорь Васильевич, приходится спешно заканчивать и отсылать письмо... очень прошу, если не совершенная галиматья все написанное, — слепите статью... Прочел всю статью с начала до конца,

чувствую, что слишком много думал над этими вопросами; трудно судить, какова ценность всего написанного, — смотрите сами".

Долго ждать не пришлось. Уже в марте 1943 года Курчатов оценил эту работу по высшему критерию. Знакомясь с материалами разведки, в которых рассказывалось, что для атомного взрыва уран должен быть разделен на две части, которые в момент взрыва должны с большой относительной скоростью быть сближены друг с другом, он написал заместителю Сталина М.Г. Первухину: "Этот способ приведения урановой бомбы в действие... для советских физиков... не является новым. Аналогичный прием был предложен нашим физиком Г.Н. Флеровым; им была рассчитана необходимая скорость сближения обеих половин бомбы."[16] А еще через 45 лет Г.Н. Флеров скажет корреспонденту "Известий": "Наши знания, из чего и как делать атомную бомбу, были получены из довоенных работ Я.Б. Зельдовича, Ю.Б. Харитона и учеников И.В. Курчатова. В 1941 году курсант Воздушной академии имени Можайского нарисовал схему той самой конструкции, которая была у американской атомной бомбы, разрушившей японский город Хиросиму в 1945 году."[21] Теперь мы знаем имя этого курсанта. Им был Флеров.

Какое же впечатление произвели письма Г.Н. Флерова на руководство страны? Какова была их эффективность? Как их оценить, особенно теперь, когда нам многое стало известно о замечательной и очень результативной работе наших "атомных" разведчиков уже с осени 1941 года? Ведь мы знаем теперь и о бескорыстной помощи наших друзей за рубежом, помогавших, подобно Клаусу Фуксу, советской стране из идейных соображений.

В разгар кровопролитнейшей, опустошительной войны высшие государственные руководители, и Сталин в первую очередь, приняли трудное, стратегически верное решение развернуть собственные работы по атомному проекту, несомненно, только благодаря безупречно добротной информации. Добротность информации определялась как достоверностью материалов разведки, так, разумеется, и обязательной квалифицированной оценкой, которую могли им дать только специалисты-физики.

В этом смысле письма Г.Н. Флерова играли роль упреждающей экспертизы. Но, оказалось, они имели самостоятельное, выдающееся значение.

В своих воспоминаниях С.В. Кафтанов, бывший во время войны уполномоченным Государственного Комитета Обороны по науке, так рассказал о событиях, последовавших вслед за тем, как он получил из ГКО письмо, направленное туда "лейтенантом Флеровым": "Я стал советоваться с физиками. Наиболее весомым для меня было мнение Абрама Федоровича Иоффе. ...Я попросил Иоффе подписать вместе со мной первое краткое письмо в Государственный Комитет Обороны о необходимости создать научный центр по проблеме атомного оружия. Он согласился. Письмо пошло за двумя подписями. Это письмо ГКО послал на заключение в разные ведомства, а потом все полученные заключения — мне для подготовки доклада на ГКО.

Не все ведомства согласились с нашим предложением о развертывании работ. Некоторые были против, например такая влиятельная организация, как Госплан. Докладывая вопрос на ГКО, я отстаивал наше предложение. Я говорил: конечно, риск есть. Мы рискуем десятком или даже сотней миллионов рублей... Сталин походил, походил и сказал: "Надо делать"... Флеров оказался инициатором принятого решения." [22]

Если быть точным и аккуратным (см. также [23]), в опубликованном рассказе Кафтанова прослеживается мысль, что его аппарат практически одновременно (как увидим по другим источникам, это будто бы не так) занимался как письмом Г.Н. Флерова, так и "добычей" начальника оперативно-инженерной группы на Южном фронте полковника И.Г. Старинова, который в апреле 1942 года доставил в Москву толстую тетрадь с записями убитого неподалеку от Таганрога немецкого офицера. Эта наполовину исписанная тетрадь содержала по урановой тематике "то ли конспекты каких-то лекций, то ли наброски статьи, конечно, на немецком языке, с множеством формул и многоцветных графиков". [24]

Тетрадь попала в руки С.А. Балезина — старшего помощника Кафтанова, который запросил и получил "резко отрицательные" [25] отзывы на "содержимое" тетради от украинского академика А.И. Лейпунского и известного специалиста по взрывам генерала Г.И. Покровского. Они писали, что, "когда страна испытывает величайшие трудности по борьбе с оккупантами, вряд ли целесообразно затрачивать средства, а их потребуется очень много, для целей, которые могут дать результаты не раньше, чем через 15—20 лет". [26]

По воспоминаниям Балезина (он, конечно, мог и не знать всех обстоятельств, с которыми, возможно, имел дело Кафтанов), его работа с тетрадью Старинова и письмо Флерова — события, не связанные между собой (Кафтанов пишет, что письмо Флерова он получил "осенью сорок второго года", что, в свою очередь, не очень соответствует последовательности излагаемых им событий в публикации [22]).

Балезин вспоминал, что в связи с информацией, полученной от Старинова, был подготовлен, несмотря на отрицательные отзывы Лейпунского и Покровского, "проект письма на имя председателя ГКО И.В. Сталина", которое и подписал Кафтанов. Балезин добавил: "Он (Г.Н. Флеров — прим. Ю.С.) рассказывал, что писал и в ГКО тоже. Но к нам, в аппарат уполномоченного ГКО по науке, его письма не пришли, не попали. Это могло быть просто от тогдашней почтовой неразберихи — ведь фронт двигался непрерывно, и дороги перерезались, города и поезда бомбил противник... Но в другое ведомство одно его письмо попало. И не знаю, уже тогда ли я об этом слышал или позднее, но правительству о том письме было доложено, и оно послужило еще одним аргументом за то, что работы надо начинать. Письмо было длинным, подробным, написанным кошмарным флеровским почерком" [24].

В этом смысле чрезвычайно важен момент, о котором рассказал М.Г. Первухин, когда его спросили, как он впервые услышал об атомной проблеме: "Я был в Совнаркоме, в Кремле, в своем кабинете. Мне позвонили: вас просит первый зам. Я зашел, и Молотов сказал: у нас есть сигналы наших ученых, которые беспокоятся, что работы по атомной физике в Советском Союзе прекращены. И в то же время никаких публикаций в иностранных журналах с 39-го года по ядерной физике нет. Это наводит на размышления, что там сделан большой шаг вперед, и, если мы не восстановим свои работы, можем очень сильно отстать. Поэтому они обращаются к правительству и просят, несмотря на тяжелые годы войны, все-таки обратить внимание на эту проблему. Затем он сказал: вы поговорите с учеными-физиками, которые знают это дело, которые им занимаются, и потом доложите. Я так и сделал. Абрама Федоровича Иоффе я знал давно, поэтому обратился к нему с просьбой назвать, кто у них занимался этим делом. Он и назвал мне Курчатова и Алиханова" [27].

Для более ясного понимания событий, о которых рассказывается в несколько противоречивых воспоминаниях уже ушедших из жизни людей, особенно интересны хранящиеся в личном архиве С.А. Балезина свидетельства самого Георгия Николаевича о тех незабываемых днях: "Летом 1942 г. меня вдруг срочно вызвали с Юго-Западного фронта, где я находился, в Москву. В Москву я попал дней за десять до начала наступления немцев на Сталинград (т.е. в 10-х числах июля). Я был в состоянии полной неизвестности, зачем меня вызвали. Здание, куда мне было предписано явиться (улица Рождественка, 11 — прим. Ю.С.) было мне также совершенно незнакомо. Меня принял человек в штатском, который начал разговор издалека: тепло расспрашивал, как мне живется, как воюется. Это и был старший помощник уполномоченного ГКО по науке Степан Афанасьевич Балезин.

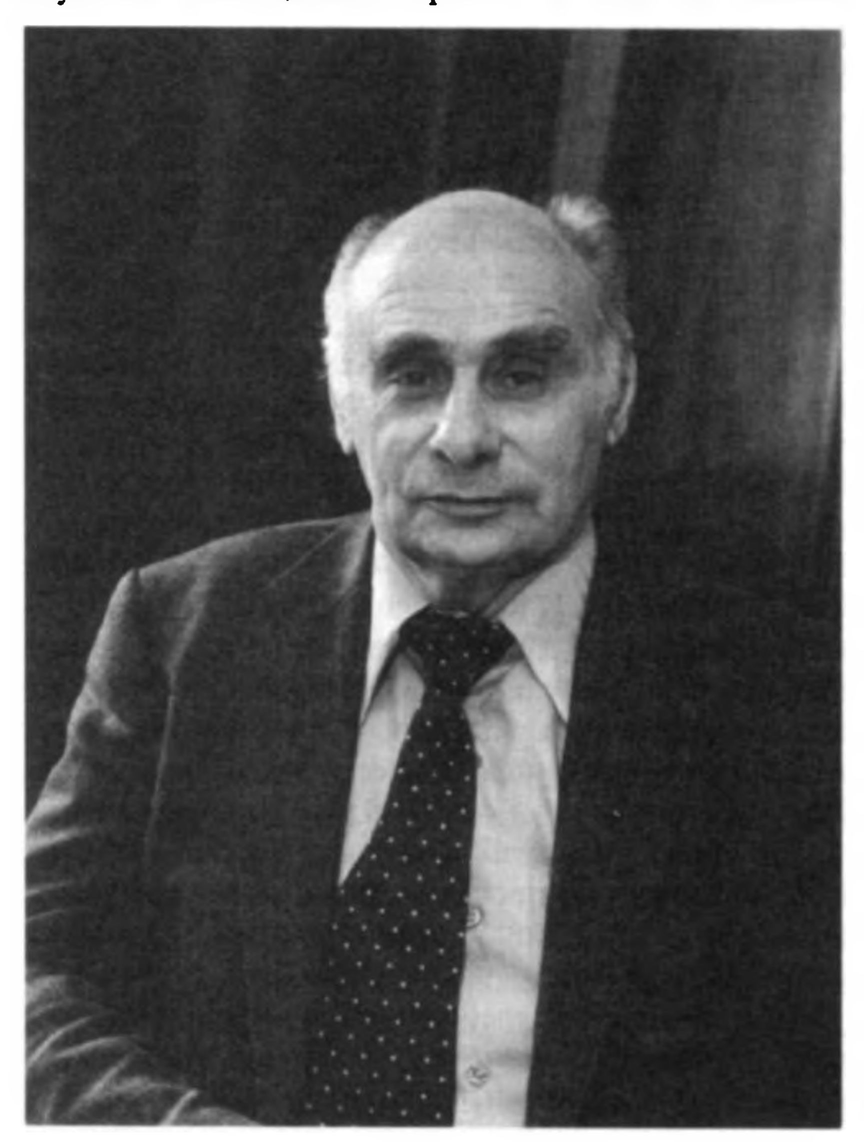
Потом мы перешли к моим письмам в ГКО и на имя тов. Сталина по ядерной проблеме, последнее из которых я написал в апреле 1942 г. Балезин вспомнил, что еще до войны слушал мою лекцию в МГУ. По ходу беседы мне стало ясно, что Балезин понимает суть вопроса, а, кроме того, знает что-то еще, чего я пока не знаю. Речь шла о том, что решение по развертыванию работ в области создания атомной бомбы уже принято.

В конце беседы мы уже писали формулы. За годы, прошедшие со времени моей лекции в МГУ, в каких-то вопросах мой оптимизм сменился пессимизмом, а в каких-то, наоборот, пессимизм уступил место оптимизму. Работа, по моему мнению, распадалась на две части. Осуществить в нашей стране создание атомной бомбы — на это требовалось время и большие средства. Это представлялось малореальным. А вот выяснить принципиальную возможность создания бомбы и меру опасности, если бы она была создана в Германии, можно было бы сравнительно быстро и малыми средствами, проведя исследования по спонтанному делению околоурановых элементов

Степан Афанасьевич попросил меня сформулировать предложения о том, с чего надо начинать. Я предложил прежде всего вызвать из армии К.А. Петржака и вывезти из Ленинграда приборы и уран или организовать мне самому поездку в Ленинград за всем этим. Мои предложения постепенно были осуществлены..." [28]

Уже сам факт вызова Г.Н. Флерова в Москву говорит о том, что какие-то из его писем в высокие инстанции заведомо достигли цели. В пользу этого свидетельствуют и слова М.Г. Первухина. Поэтому с полным основанием можно утверждать: при принятии правительственного решения о начале наших работ по атомному проекту существенное значение имели и информация разведки, и письма Г.Н. Флерова, и действия С.В. Кафтанова.

Но письма Георгия Николаевича примечательны в том отношении, что они явились знаком обеспокоенности и настойчивой инициативы изнутри научного сообщества страны. В них не только свидетельство завидной прозорливости их автора. Одновременно они предвосхитили ряд научных идей и решений для атомного проекта, которые в наши дни кое-кто пытался записать в актив разведки. Это принципиальный момент, имеющий особое значение, когда рассуждают о том, смогли ли бы наши ученые без помощи разведки самостоятельно справиться с возникшей грандиозной проблемой.


Г.Н. Флеров, Последние годы жизни

Я упомяну об одном курьезном факте. Когда говорят, что с материалами разведки наши специалисты получили ключевую идею об "имплозии" (сходящийся к центру сферически-симметричный взрыв), важную для обеспечения обжатия плутониевого заряда, — это, конечно,

верно. Но правда заключается и в том, что к задаче об имплозии совершенно самостоятельно пришел и решил ее в середине сороковых годов выпускник Военно-воздушной академии имени Н.Е. Жуковского лейтенант Евгений Забабахин. [29] А к моменту защиты кандидатской диссертации на эту тему на него уже вышел один из главных участников работ над советской атомной бомбой Я.Б. Зельдович. В результате — Е.И. Забабахин, в дальнейшем известный наш ядерщик и академик, без промедления оказался в Арзамасе-16...

Одним словом, команда физиков-ядерщиков, вовлеченных в советский атомный проект, и команда выдающихся физиков, собравшихся для работы над атомным оружием за океаном, оказались достойными друг друга.

Нельзя не отметить, что самоотверженная активность Г.Н. Флерова, его письма своим коллегам-физикам и выступление перед ними в Казани имели еще одно положительное следствие: в дни войны, в дни колоссального напряжения всех сил они исподволь психологически готовили людей к их скорой новой работе и вновь и вновь привлекали внимание к атомной проблеме. В своих письмах он предугадал многих основных участников начального этапа будущей работы. Недаром, к 75-летию со дня рождения Георгия Николаевича коллеги из Курчатовского института направили ему телеграмму, текст которой, кстати, составил И.И. Гуревич, и в которой были и такие слова: "Мы никогда не забудем того решающего вклада, который Вы сделали в начале разворачивания работ по атомной энергии в трудные годы Отечественной войны".

Инициатива, проявленная Г.Н. Флеровым, поставила его в один ряд с Лео Сцилардом и Альбертом Эйнштейном, которые, также опасаясь появления немецкой атомной бомбы, обратили внимание президента США Ф. Рузвельта на надвигающуюся опасность. Письма Флерова несли в себе заряд высочайшей ответственности перед страной и соотечественниками. Именно эта ответственность помогла в дальнейшем нашим ученым и специалистам очень быстро ликвидировать американскую атомную монополию и спасти мир от беды. Ибо всякая монополия на принципиально новые виды оружия, тем более на оружие суперразрушительное, чревата самыми тяжелыми неожиданностями.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Копии текстов публикуемых здесь писем Г.Н. Флерова (1941-1942 гг.) были подарены мне и подписаны им в 1988 г. Письма приводятся в хронологическом порядке. В текстах отдельные обозначения и схема опыта отсутствуют.

Уважаемый товарищ Кафтанов!

Пишу Вам это письмо, не зная, не постигнет ли его судьба моего первого письма, направленного на имя товарища Сталина.

В том письме я писал о недостатках работы физиков сейчас, в военное время, предлагая ряд мероприятий, которые, как мне казалось, помогли бы сдвинуть работу с мертвой точки, в которой она сейчас находится. Проведение всех этих мероприятий попутно должно было привести и к решению вопроса о работе над так называемой "проблемой урана". Но ответа на письмо все еще нет, и я пишу это письмо независимо от первого, считая, что как бы ни строилась работа по физике в настоящее время, какие бы задачи ни решались, работу над проблемой урана нам нужно продолжать.

Занимались этим вопросом у нас в Союзе с 1939 г., сделано было много, и я думаю, что не ошибусь, если скажу, что в этом вопросе мы, пожалуй, даже опередили заграницу. После первого увлечения этой проблемой — шутка ли сказать — использование внутриатомной энергии, когда выяснилось, что имеется ряд затруднений для действительного осуществления цепных реакций, был намечен ряд путей, скорей, даже лазеек для решения вопроса. Последовательным изучением пригодности этих принципиально возможных путей мы и занимались с 1939 г. по день начала войны.

Работа принесла более разочарований, чем удач; один за другим все принципиально возможные пути проверялись нами непосредственно на опыте или же на основании данных других исследователей и были откинуты.

В итоге, к началу войны в портфеле идей, нуждающихся в проверке, осталось лишь два весьма искусственных метода.

Мне, непосредственно работавшему над этой задачей, представлялось, что вероятность решения задачи вообще этими путями выражается 5-10 процентами. Решение же задачи в ближайшее время с тем, чтобы ядерные бомбы могли бы быть использованы против немцев в этой, как нам казалось, молниеносной войне — эта вероятность была крайне ничтожна.

Не стоило растрачивать силы и средства на фантастические вещи, когда война выдвинула ряд конкретных задач, у А.Ф. Иоффе работа была законсервирована, и мы все были переведены на более "реальные" темы.

Основное, что отпугивало и отпугивает в этой проблеме, делает ее фантастической, — это те возможности, которые представятся при удачном решении задачи. Один из возможных технических выходов — ядерная бомба (небольшая по весу), взорвавшись, например, где-нибудь в Берлине, сметет с лица земли весь город. Фантастика, быть может, но отпугивать это может только тех, кто вообще боится всего необычного, из ряда вон выходящего.

Со дня начала войны прошло 5 месяцев. Имеются сведения о том, что в Германии Институт Кайзера Вильгельма целиком занимается этой проблемой.

В Англии также, по-видимому, идет интенсивная работа.

Ну, и основное — это то, что во всех иностранных журналах полное отсутствие каких-либо работ по этому вопросу. Это молчание не есть результат отсутствия работы; не печатаются даже статьи, которые являются логическим развитием ранее напечатанных, нет обещанных статей, словом, на этот вопрос наложена печать молчания, и это-то является наилучшим показателем того, какая кипучая работа идет сейчас за границей.

Нам в Советском Союзе работу нужно возобновить; пусть вероятность решения задачи в ближайшее время крайне мала, но ничегонеделание не может привести к успеху, в то время как в процессе самой работы выяснится ряд новых дополнительных данных, могущих приблизить нас к решению вопроса.

Работу нужно продолжать... — Что же необходимо для этого?

Для определения объема, в котором будет проводиться работа, необходимо прежде всего более точно определить, насколько вероятно на самом деле успешное решение задачи.

Оценка, приведенная выше (5-10%) — есть моя собственная, крайне субъективная оценка, которую рискованно брать за основание для многотысячных затрат.

Необходимо телеграфировать в Англию и Америку, прося союзников выслать хотя бы краткую сводку полученных ими результатов за последнее время.

Мне трудно судить о том, как должна быть составлена телеграмма для получения ответа, но один из возможных вариантов — это телеграмма за моей подписью с чисто научной просьбой о присылке результатов работ по спонтанному делению урана. Попутно можно прозондировать почву относительно возможности поездки в Англию для ознакомления с работой 1-2 человек.

В полученных материалах будет, безусловно, присутствовать элемент засекречивания, поэтому копию всего присланного прошу переслать мне для того, чтобы можно было определить, что же, наконец, сделано за это время!

Параллельно с этими телеграммами необходимо разработать план мероприятий в двух вариантах — более широкий и более узкий размах работы. В зависимости от ответа на наши телеграммы работа будет вестись по одному из этих планов.

Подготовку мероприятий можно поручить, как мне кажется, академику П.Л. Капице, привлекая к этому А.И. Алиханова и А.И. Алиханьяна. В бригаду работающих необходимо будет привлечь проф. Л.А. Арцимовича, проф. И.В. Курчатова и часть работников Радиевого института.

В случае необходимости моего участия в работе мне необходимо будет разрешение на вызов 4 человек из действующей армии (К.А. Петржака и несколько бывших сотрудников Физико-технического института) и вывоз

из Ленинграда всего необходимого, оставленного там лабораторного оборудования.

Более детально все вопросы придется решать на совещании, созванном Президиумом Академии наук.

Для того чтобы это совещание было деловым и действительно бы разрешило все вопросы, созыв совещания прошу поручить докторам И.М. Франку и А.Б. Мигдалу.

Перечитал все написанное — звучит диковато, но основное это то, что при всем действительном расцвете науки у нас в Союзе, здесь, в этом вопросе, проявлена непонятная недальновидность.

История делается сейчас на полях сражений, но не нужно забывать, что наука, толкающая технику, вооружается в научно-исследовательских лабораториях; нужно все время помнить, что государство, первое осуществившее ядерную бомбу, сможет диктовать всему миру свои условия, и сейчас единственное, чем мы можем искупить свою ошибку — полугодовое безделье — это возобновление работ и проведение их в еще более широком масштабе, чем было до войны.

Извещение о получении письма и материалы из Англии и США прошу направить в г. Йошкар-Олу на адрес Военно-воздушной Академии (факультет спецоборудования) на имя в/инж. 3 ранга Б.И. Брустина для пересылки мне по новому адресу.

С приветом Г. Флеров

Ноябрь 1941 г.

Дорогой Игорь Васильевич!

Пишу Вам это письмо, находясь здесь в Казани, в расчете на Ваш приезд сюда.

Академию я уже закончил, получив звание воентехника 2 ранга; в ближайшие дни придет назначение из Куйбышева, по-видимому, меня направят в школу авиационных механиков преподавать физику и электротехнику.

Пишу откровенно о цели приезда сюда, потому что считаю, что все-таки могу и должен заниматься физикой, причем физикой не вообще в ее оборонных применениях, а мне и нам всем необходимо продолжать работу над ураном, так как, по моему мнению, в этом вопросе проявлена непонятная недальновидность.

Вчера делал доклад на семинаре (малый Президиум АН СССР), рассказывал о своих новых измышлениях по этому вопросу, в основном же пытался привлечь внимание слушающих к тому, что имеется интересная перспективная область работы, которой нужно заниматься. Доклад не удался: делался он после сообщения И.И. Гуревича, который опять занимал слушателей изложением результатов своих подсчетов.

Оказывается, что для проведения цепной реакции на смеси уран-гелий необходимо ни много, ни мало, а 150000 тонн гелия, далее необходимо в 10 раз обогатить 200 кг урана и прочие существенные выводы.

Подобные результаты и доклады с самого начала предопределяют отношение аудитории к урановому вопросу, и я только могу удивляться и гадать, сознательно или по недомыслию занимаются наши расчетчики подобными расчетами, которые с необходимостью вызывают весьма предубежденное отношение ко всей проблеме урана.

В самом деле, что перевело вопрос об использовании внутриатомной энергии в разряд нереальных, полуфантастических тем одного порядка значимости, как, скажем, использование солнечной энергии, энергии приливов и др. подобных дутых проектов? К сожалению, расчеты, которые у нас в Союзе проводились, делались людьми, которых в основном привлекала математическая сторона вопроса, и которые, разработав математический аппарат и, убедившись в самом начале, что для смеси уран-вода реакция не пройдет, не смогли остановиться на этом, а продолжали дальнейшую работу, выдвигая тяжелый водород, гелий и т.д. Результаты, ими получаемые, — необходимость тонн дейтерия, 150000 тонн гелия и т.д., и определили крайне скептическое отношение к этой проблеме даже таких увлекающихся людей, как А.Ф. Иоффе.

Все дальнейшее представляет краткое изложение моего мнения по этому вопросу. Кроме того, у меня есть убежденность, что рано или поздно, а ураном придется заниматься. Для этого, вероятно, потребуется появление целого комплекса новых факторов — облегчения военного и экономического положения страны, ряд разочарований физиков, убедившихся, что, занимаясь изобретательством, они занимаются не своим делом.

Во всяком случае, почва еще недостаточно подготовлена, и все, что я дальше буду писать, рассчитано в основном на будущее.

1. Если подсчитать, какое количество энергии выделится при полном распаде 2 кг урана, то получится, на первый взгляд, очень большая величина, эквивалентная 10 тонн угля. Эта величина казалась очень большой только до тех пор, пока мы могли надеяться на непосредственное использование энергии урана без обогащения U-235, использования гелия и тому подобных ухищрений. Однако, как только было показано, что осуществить цепную реакцию так просто не удастся, необходимо было вспомнить о том, что 10 тонн угля — крайне малая величина по сравнению с теми затратами, которые нужно произвести, например, для обогащения U-235 изотопом урана(?). Стоимость 10 тонн угля всего 20-130 тысяч рублей, что неизмеримо меньше затрат на обогащение урана легким изотопом (потому что при проведении реакции на медленных нейтронах выгорать будет только U-235).

Таким образом, дальнейшие расчеты комбинаций уран-дейтон, уран-гелий не имели смысла, а нужно было искать другие возможные пути использования ядерной энергии.

2. Ядерное топливо обладает крайне выгодной особенностью, отличающей его от других видов топлива. В зависимости от условий проведения цепной реакции (медленные или быстрые нейтроны) энергия будет выделяться или медленно — угольный эквивалент, или быстро, за времена порядка 10^{-7} секунд — динамитный эквивалент. Динамит дороже угля примерно в 1000-10000 раз, причем это не является случайностью.

Для сгорания угля необходим подвод кислорода: в динамите содержится собственный кислород, что и обуславливает полное выделение тепловой энергии за 10^{-5}-10^{-6} секунды. Дешевизна угля и энергии обусловлена тем, что в этих веществах аккумулировалась и сохранялась солнечная энергия в течение сотен тысяч лет, что, конечно, не могло бы происходить, если бы каким-нибудь образом солнечная энергия могла бы аккумулироваться во взрывчатых веществах — эти вещества не могут долго сохраняться, так как из-за наличия в них кислорода они постепенно портятся.

Однако, эта неизбежная относительная дороговизна взрывчатых веществ требует дополнительного объяснения, почему же мы ими пользуемся? Дело все в том, что ценность выделений энергии обуславливается не только ее количеством, а также и временем, за которое она выделяется.

Есть ряд случаев, когда нам необходимо для совершения какой-нибудь работы не только затратить определенную энергию, но, кроме того, требуется, чтобы действующая сила была больше определенной величины. В пословице "Вода камень точит" упускается одна существенная деталь, а именно, что коэффициент полезного действия такого метода разрушения камня во много тысяч раз меньше, чем если бы мы разрушали этот камень при помощи динамита. Во многих (в большинстве случаев) военных задачах, сила имеет большее значение, чем энергия. Отсюда выгодность применения веществ, у которых процесс выделения происходит за малые времена — взрывчатые вещества.

Из двух равноценных, в смысле осуществления, способов сжигания урана — угольного и динамитного — первый оказался экономически невыгодным, что заставляет нас перенести все внимание на второй — использование ядерной энергии взрывным способом.

3. Теплотворная способность динамита в 15 раз меньше теплотворной способности угля, и, таким образом, те же 2.4 кг урана эквивалентны 10^5 тонн динамита, что в смысле стоимости и в смысле военного значения представляет намного большую величину, чем 10^4 тонн угля.

Для примера укажем, что по данным самих англичан за 6 последних месяцев во время налетов английской авиации на Германию было сброшено всего $20 \cdot 10^8$ тонн бомб. Таким образом, если удастся осуществить взрыв всего количества урана, заключенного в бомбе, на территории Германии, это позволит всей английской авиации отдыхать в течение 3 лет. Кроме того, стоимость такой бомбы составит 10^9 рублей.

Осуществление ядерной бомбы даст очень много: не останавливаясь пока что на том, каким путем ядерную бомбу можно осуществить, так как это дело скорее техники и химии, перейдем к тому, сможем ли мы в действительности осуществить взрыв такой ядерной бомбы с полным выделением всей заключенной в уране энергии (200 МэВ) и последующим переходом всей выделенной энергии в виде взрывной волны.

4. Основной вопрос, сможем ли мы вообще осуществить цепную ядерную реакцию на быстрых нейтронах, использовав для этого или U-235 или 94-239, упирается в точные значения величины в области энергии нейтронов E=1-3 МэВ. Хотя из работы К.А. Петржака и моей следует, что, по-видимому, спектр вторичных нейтронов начинается с 1 МэВ, то, во всяком случае, [сечение деления — Ю.С.] будет больше, чем $2 \cdot 10^{-24}$ см^2, не превышая вместе с тем $3 \cdot 10^{-24}$ см^2 (опыты с Ра). Относительно [— Ю.С.] примем, что это число заключено между 2 и 3 (данные для U-235 — деление под действием медленных нейтронов). Это допущение нуждается в проверке, так как на самом деле нейтроны могут испускаться только при одном типе деления в количестве 6-8 штук на распад, и именно этот-то тип деления может либо преобладать, либо вообще отсутствовать при делении 94-239. Необходимо экспериментально определить эту величину, пока же примем, что 1) =2, 2) =3. (?)

Подсчет, приведенный в двух параллельных случаях: 1) и 2), дает соответственно значения для М с учетом нейтронной изоляции М = 3 кг и М = 900 гр. Оба значения не являются чрезмерно большими и, если только получение этих элементов будет в какой-то мере возможно, то получить можно будет и 900 гр. и 3 кг. Необходимо заметить, что величина критической массы не столь существенна, так как выделяемая энергия пропорциональна количеству вещества в бомбе.

5. Какие же нужно создать условия для того, чтобы вызвать взрыв бомбы? Такой взрыв, при котором заметная доля ядер урана успела бы распасться. Для возникновения лавины на быстрых нейтронах существенное значение имеет величина К — число вторичных нейтронов — число ядер урана на среднем пути нейтрона от места его зарождения до границы урановой сферы — коэффициент, определяемый обратным отражением нейтронов в уран.

В процессе изготовления ядерной бомбы К может принимать любые значения между нулем и единицей.

Взрыв бомбы наступит тогда, когда К-1 хотя бы немного превысит единицу.

Одна из наиболее простых схем взрыва бомбы: [В имеющемся тексте письма схема бомбы отсутствует. Вероятно, она совпадает с той, которая приведена в упоминаемой выше неопубликованной рукописи статьи Г.Н. Флерова "К вопросу об использовании внутриатомной энергии". Схема

эта из названной статьи публиковалась в отечественных научно-популярных журналах и приведена, в частности, в [23] — иллюстрация N15; прим. Ю.С.].

Для того чтобы реакция началась, необходимо чтобы урановая бомба была бы быстро вдвинута в ствол: коэф. "K" увеличится и при первом же шальном нейтроне (космическом или земном), попавшем в уран, начнет развиваться лавина, в результате чего бомба взорвется. По ряду соображений необходимо, чтобы в момент попадания первого "шального" космического нейтрона "K" достаточно отличалось бы от единицы. Большие значения этим методом трудно получить, малые же нежелательны по ряду соображений: 1) При малых значениях "K-1" реакция будет развиваться слишком медленно, за это время оболочка разорвется на части и разлетится вместе с остатками неиспользованного урана. 2) В процессе развития цепи часть урана выгорит, что приведет к меньшему значению числа ядер урана на среднем пути нейтрона, реакция начнет угасать, из-за чего будет использована только часть атомов урана 0.1, если только K — мало. 3) При малом K=1.01 достаточно увеличения радиуса сферы; вследствие выделения тепла и повышения давления всего на 0.1 миллиметра для того, чтобы K стало меньше 1 и цепь оборвалась. (Небольшие перераспределения плотности урана в объеме бомбы также приведут к угасанию цепи).

Следовательно, для того, чтобы взорвать ядерную бомбу, необходимо увеличение K от 1 до 1.10, причем увеличение должно происходить достаточно быстро, чтобы за это время в уран не мог попасть ни один нейтрон.

Нейтроны, которые могут вызвать начало развития цепи, это космические нейтроны и нейтроны, возможно, сопровождающие спонтанное деление U-235 или 94-239.

1. Расчет для космических нейтронов:

Примем максимальное значение для числа космических нейтронов на уровне земли 1 нейтрон/см·сек. Тогда скорость перемещения бомбы по отношению к отражателю (стволу) должна составлять 50 м/сек. Длина ствола — порядка 5-10 метров для того, чтобы за время нахождения ядра в стволе в уран успел бы попасть хотя бы один космический нейтрон (тормозить — сложно, бомба пролетает сквозь ствол). Получение скоростей 50 м/сек не очень затруднительно. Однако, длина ствола 5-10 метров показывает, что само осуществление взрыва потребует сложной аппаратуры (если немцы и сделают ядерную бомбу, то взорвать ее на территории противника им будет не так-то легко).

2. Расчет для спонтанных нейтронов.

В этом случае предъявляются гораздо более высокие требования к скорости бомбы — 3000 м/сек. Длина ствола та же 5-10 метров. Двойная сложность — получение самой скорости 3000 м/сек, кроме того, при влете в ствол бомбы с такой скоростью ствол может лопнуть (давление на ствол волнами Маха).

Из этой оценки видно, насколько существенно было бы определить, вылетают ли из U-235 спонтанные нейтроны или нет. В случае вылета спонтанных нейтронов вообще ставится под сомнение, сможем ли мы когда-нибудь использовать U-235 для ядерных бомб??!!

6. Самый сложный и даже качественно необдуманный вопрос, какая же доля выделенной энергии перейдет во взрывную волну? Не появятся ли новые механизмы отвода энергии — рентгеновские лучи, которые несут большую долю энергии и поглотятся на сравнительно близком расстоянии от ядерной бомбы?..

При полном сгорании 2 кг урана выделятся $4{\cdot}10^{20}$ б. к. Температура, которая вследствие этого разовьется ($2{\cdot}10^{30}$ K) — нелепая величина. По-видимому, в процессе торможения осколков, ядра урана почти целиком ионизированы. Испускаться будут жесткие рентгеновские лучи, время переходов 10^{-13} сек, что очень невыгодно, так как эти лучи будут сильно поглощаться хотя бы в материале отражателя.

Сопровождающие распад ядра урана β-лучи также не будут слишком эффективны, так как, хотя количество их чрезвычайно велико, но для них существенно будет поглощение в воздухе. Мне пока что самому не удалось разобраться, как же будет происходить процесс выделения энергии? Как будто существенно то, что будут испускаться рентгеновские лучи. Очень хорошо было бы, если бы Вы, Игорь Васильевич, попросили кого-нибудь из думающих теоретиков, лучше всего Померанчука или Мигдала, а может быть, обоих вместе, рассмотреть этот вопрос.

Ну вот, кажется, и все; ночь кончается, устал я чертовски, основное, во всяком случае, в чем я хочу убедить, это то, что к решению проблемы урана нужно подойти несколько казуистически, а именно, сначала определить, сможем ли мы освободить и использовать эти громадные количества энергии и только при положительном ответе на этот вопрос можно заниматься вопросом деления изотопов и химического выделения.

Какие же предварительные работы для этого нужно произвести.

1) Теоретическое рассмотрение вопроса о доле энергии, переходящей во взрывную волну,

2) Определение, вылетают ли спонтанные нейтроны из U-235.

Если все-таки думать о какой-то подготовке к проведению работы, то очень хорошо было бы запросить англичан и американцев о полученных ими за последнее время результатах. В частности, очень существенен вопрос о числе нейтронов, вылетающих в реакциях ( )( ) и т.д.

Кроме всего здесь изложенного, у меня к Вам, Игорь Васильевич, личная просьба — попытаться вытащить К.А. Петржака из Действующей Армии.

Прошу извинить за бессвязность всего написанного и за помарки; переписать не успею, через 2-3 часа нужно ехать обратно в Йошкар-Олу.

Настроение у меня паршивое; мама в Ленинграде, ей приходится трудно, кроме того, проучился я в Академии уже 5 месяцев, ничего не узнал

существенно нового; в дальнейшем предстоит еще более скучная, мало полезная работа.

Ну, всего, Игорь Васильевич, напишите мне по адресу, который я вышлю в Институт; все-таки не хочется порывать связь с Институтом.

С приветом Г. Флеров

21/XII-41 г.

Все здесь написанное и дальнейшее, пусть не очень интенсивное продолжение работы должно иметь своей целью не только своевременное включение нас в решение задачи, в случае положительных результатов, но вместе с тем, позволит определить, насколько опасна для нас самих возможность того, что у противников будет сделана такая бомба.

1. Имеющееся предложение А.И. Алиханова и Алиханьяна об использовании радиоактивности продуктов распада урана также не может дать чего-нибудь особенно эффективного после того, как было показано, что для проведения цепной реакции нужно обогащать уран или выделять 94.

Особенно наглядна оценка в случае Pa. Сам по себе Pa обладает естественной радиоактивностью, распадаясь за 30000 лет.

Если создать условия, при которых вследствие всяких релаксационных вещей цепной распад протактиния происходил бы за 100 лет, меньше тяжело — отвод энергии, то в течение этих 100 лет можно было бы снимать количества искусственных радиоактивных веществ в 300 раз больше, чем количества самого протактиния. Однако в процессе выделения (химического) мы можем использовать только один определенный элемент, получающийся в результате определенного типа деления. Кроме того, при выборе этого элемента мы связаны как химией выделения, так и требованием достаточно большого периода полураспада этого элемента T — несколько часов, а лучше дней. Таким образом, вместо 300-кратного увеличения нам нужно взять всего лишь 30-кратное увеличение активности, что уже не является столь выгодным, так (?) еще придется решать вопрос химического выделения активности и очистки от шлаков.

Прикидку произвел для примера Pa; на самом деле предложено использовать U-235, но деление изотопов намного более сложная задача, чем выделение Pa, так что в случае U-235 этот косвенный путь использования энергии мне представляется невыгодным.

2. При осуществлении ядерной бомбы полость, где находится уран или 94, необходимо будет откачать до достаточно хорошего вакуума по двум причинам: 1) для уменьшения числа нейтронов, получающихся по реакции ( ) — особенно существенно для ядра 94 — энергичные α-частицы, 2) присутствие газа внутри бомбы приведет к более быстрому разрыву оболочки из-за повышения давления газа (благородные газы в результате деления??).

Кроме того, необходимо оценить, не будет ли получаться разрыв оболочки из-за "давления нейтронного газа". "Давление" — неупругие и упругие столкновения нейтронов с ядрами вещества отражателя??

22 декабря 1941 г.

Г. Флеров

Секретарю тов. Сталина

Уважаемый товарищ!

Очень прошу Вас довести основное из изложенного в письме до сведения самого Иосифа Виссарионовича.

Вопрос об уране находится сейчас в такой стадии, когда только личное участие тов. Сталина может чему-либо помочь. Я достаточно хорошо знаю Абрама Федоровича (Иоффе — прим. Ю.С.) для того, чтобы думать, что то, что он делает, делается им сознательно. Но, однако, объективно подходя к вопросу, его поведение близко к самому настоящему преступлению.

Вероятность успеха в проблеме урана по моим оценкам 10-20%. Более точную величину Вы получите из записок, которые подготовят кандидаты будущего совещания. Есть сведения, что этим вопросом, по-видимому, усиленно занимаются за границей. Ну, и что безусловно правильно, это то, что решение задачи приведет к появлению ядерной бомбы, эквивалентной 20-30 тысячам тонн взрывчатого вещества, достаточного для полного уничтожения или Берлина или Москвы в зависимости от того, в чьих руках эта бомба будет находиться. Однако этот вопрос либо замалчивается, либо от него просто отмахиваются: уран — фантастика, довольно с нас фантастики, кончится война — будем на свободе заниматься этим вопросом. И именно перспективность в случае осуществления ядерной бомбы позволяет Абраму Федоровичу действовать наверняка. Никто нигде не сможет осуществить эти бомбы. Ну что ж, можно будет говорить об интуиции Абрама Федоровича, позволившей ему без всех многочисленных опытов (которые еще предстоит проделать) угадать неосуществимость ядерных бомб.

Вторая просьба: получить у наших осведомляющих органов полные сведения о том, какая работа по урану в настоящее время проводится в Германии, Англии, САСШ, и приложить их к моему письму для ознакомления с ними товарища Сталина.

К письму прилагаю копию моего письма, направленного тов. Кафтанову в январе 1942 года. Очень был бы рад получить объяснения тов. Кафтанова, потому что привык к тому, что в научных вопросах не отыгрываются молчанием, а тем более в этом вопросе, связанном с обороной страны. Непонятно даже то, что на это письмо тов. Кафтанов даже не счел нужным ответить. Еще раз повторяю свою просьбу: решить вопрос может только лично товарищ Сталин. Так постарайтесь, чтобы мое письмо попало к нему. О получении письма и о дальнейших мероприятиях известите меня неза-

медлительно по адресу: ППС N899 п/я 1490 отдельная разведывательная эскадрилья, технику-лейтенанту Флерову Г.Н.

P.S. До представления моего письма товарищу Сталину попрошу исправить орфографию и стилистику и перепечатать его на машинке.

Для подготовки к созываемому совещанию мне понадобится трехдневное ознакомление с: 1) материалами о работе над ураном за границей, 2) записками участников совещания, 3) иностранными физическими журналами с 15 июля 1941 г. (Phys.Rev., Proc. Roy. Soc., Nature).

Дорогой Иосиф Виссарионович!

Вот уже 10 месяцев прошло с начала войны, и все это время я чувствую себя, и действительно очутился, в положении человека, пытающегося головой прошибить каменную стену.

В чем я ошибаюсь?

Переоцениваю ли значение "проблемы урана"? — Нет, это неверно. Единственное, что делает урановые проекты фантастическими — это слишком большая перспективность в случае удачного решения задачи. Но отпугивать эта удачная перспектива может лишь людей, либо боящихся всего необычного, из ряда вон выходящего, либо людей, имеющих печальный опыт по предложению дутых проектов, ну и обжегшихся на молоке и дующих вследствие этого на воду.

Мне приходится с самого начала оговориться. Может быть, я не прав — в научной работе всегда есть элемент риска, а в случае урана он больше, чем в каком-нибудь другом. В письме к тов. Кафтанову я указал 10-20% вероятности удачного решения вопроса, и эта величина ни в коем случае не приуменьшена. Однако представим на минуту, что с ураном "вышло". Правда, революцию в технике это не произведет — уверенность в этом дают работы последних довоенных месяцев, но зато в военной технике произойдет самая настоящая революция. Произойдет она без нашего участия, мы за это должны будем дорого заплатить, и все это только потому, что в научном мире сейчас, как и раньше, процветает косность.

Знаете ли Вы, Иосиф Виссарионович, какой главный довод выставляется против урана? — "Слишком здорово было бы, если бы задачу удалось решить. Природа редко балует человека."

Так дайте же мне возможность показать, что действительное отличие человека от животного заключается именно в том, что человек в состоянии преодолеть затруднения, вырвать у природы все ему необходимое.

Может быть, находясь на фронте, я потерял всякую перспективу того, чем должна заниматься наука в настоящее время, и проблемные задачи, подобные урановой, должны быть отложены на "после" войны. Так считает академик А.Ф. Иоффе, и в этом он глубоко ошибается. Мне кажется, что если в отдельных областях ядерной физики нам удалось подняться до уровня иностранных ученых и кое-где даже их опередить, то сейчас мы совершаем

большую ошибку, добровольно сдавая завоеванные позиции. За год, за два мы отстанем настолько, что у того же акад. Иоффе перед трудностями опустятся руки, когда придет время вернуться от военного изобретательства к проблемным задачам. Самые большие глупости делаются с самыми лучшими намерениями.

Мы все хотим сделать все возможное для уничтожения фашистов, но не нужно пороть горячку — заниматься только теми вопросами, которые подходят под определение "насущных" военных задач.

Ну и, наконец, возможно, что я слишком много беру на себя.

Случайно попав вместе с К.А. Петржаком в круг академических ученых, благодаря работе о спонтанном делении (в настоящее время повисшей в воздухе), с началом войны мы оказались выбитыми из колеи научной работы. Оба мы были мобилизованы, оба мы пытались заикнуться о том, что мы научные работники, и оба мы остались в Армии, потому что как раз в этот момент на оба института, в которых мы работали, — Радиевый и Физико-технический — напала немота, что привело к отсутствию всякого ходатайства за нас как за людей, занимающихся нужным полезным делом.

К.А. Петржак — младший лейтенант, я — техник-лейтенант — мы сражаемся, работаем и стараемся делать это как можно лучше, но меня все время мучит, что уран оставлен, между тем, как я чувствую, что даже сейчас в тяжелых условиях войны с 10-месячным отставанием, мы все же смогли бы очень много сделать, работая в этой области.

Все письма, которые Вы, Иосиф Виссарионович, получаете, могут быть разбиты на две группы. В первой — письма с предложениями, которые могут, по мнению авторов, помочь в борьбе с фашистами. Во второй — подобные же предложения, но вместе с тем проведение этих предложений связано с какими-то изменениями в положении самого автора.

Так вот, мне очень тяжело писать, зная, что к моему письму с полным правом может быть применен "трезвый" подход. Ну что там бушует Флеров? Занимался наукой, попал в армию, хочет выкарабкаться оттуда, ну и, используя уран, засыпает письмами всех и вся, неодобрительно отзывается об академиках, делая все это из самых эгоистических личных соображений.

Так вот, считаю необходимым для решения вопроса созвать совещание в составе академиков Иоффе, Ферсмана, Вавилова, Хлопина, Капицы, академика АН УССР Лейпунского, профессоров Ландау, Алиханова, Арцимовича, Френкеля, Курчатова, Харитона, Зельдовича, докторов Мигдала, Гуревича. Желателен также вызов К.А. Петржака.

Прошу для доклада 1 ч. 30 м. Очень желательно, Иосиф Виссарионович, Ваше присутствие — явное или неявное, или кого-нибудь Вас замещающего.

Вообще говоря, сейчас не время устраивать подобные научные турниры, но я лично вижу в этом единственный способ доказать свою правоту — право заниматься ураном, так как иные способы — личные переговоры с А.Ф. Иоффе, письмо к т. Кафтанову — все это не приводит к цели, а

просто замалчивается. На письмо и пять телеграмм тов. Кафтанову ответа я не получил. При обсуждении плана Академии наук говорилось, вероятно, о чем угодно, но только не об уране.

Это и есть та стена молчания, которую, я надеюсь, Вы мне поможете пробить, так как это письмо последнее, после которого я складываю оружие и жду, когда заграница, решив задачу, покажет; когда удастся решить задачу в Германии, Англии или САСШ. Результаты будут настолько огромны, что будет не до того, да и некому будет определять, какова доля вины Абрама Федоровича в том, что у нас в Союзе забросили эту работу.

Вдобавок делается это настолько искусно, что и формальных оснований против А.Ф. у нас не будет. Никогда, нигде А.Ф. прямо не говорил, что ядерная бомба неосуществима, и однако создано мнение, что это — задача из области фантастики.

Поэтому первая просьба, на выполнении которой я настаиваю, это получение от всех кандидатов будущего совещания письменных соображений о реальности проблемы урана. Заключением должен явиться ответ, какой цифрой оценивается вероятность решения задачи. Те [так в оригинале — Ю.С.] из участников совещания, которые сочтут свою эрудицию недостаточной для письменного заключения, этот вопрос может быть снят, но они не освобождаются от присутствия на совещании.

Г.Н. Флеров

Апрель 1942 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ю.Б. Харитон.** "Ядерное оружие СССР: пришло из Америки или создано самостоятельно?", газета "Известия", 8 декабря 1992 г. См. также Ю.Б. Харитон, Ю.Н. Смирнов. "Мифы и реальность советского атомного проекта." (Сборник статей). ВНИИЭФ, Арзамас-16, 1994, стр. 4-71.

2. **Ральф Лэпп.** Новая сила. Об атомах и людях. Издательство иностранной литературы. Москва, 1954 г., стр. 46, 47, 70 (Ralph Lapp. The New Force. The Story of Atoms and People. New York, 1953).

3. Официальное заявление прессбюро Службы внешней разведки России, май 1994 г. См. "Могут ли спецслужбы заменить Академию наук?", Вестник Российской Академии наук, том 64, N11, 1994 г., стр. 970.

4. **Ю.Б. Харитон, В.Б. Адамский, Ю.Н. Смирнов.** "О создании советской водородной (термоядерной) бомбы", Успехи физических наук, 1996 г. (в печати).

5. **Ральф Лэпп**, цит. соч., стр. 200-202.

6. **Михаил Черненко.** "100000 тонн динамита или прошу исправить орфографию", газета "Московские новости", N16, 17 апреля 1988 г.

7. Беседа с А.В. Подгурской (Флеровой), 1996 г. Архив Ю.Н. Смирнова.

8. Здесь и далее беседа с Г.Н. Флеровым, 1988 г. Архив Ю.Н. Смирнова.

9. **McMillan E., Abelson Ph.** H. Phys. Rev., 1940, vol. 57, p. 1185-1186.

10. **Turner L.A.** Phys. Rev., 1940, vol. 58, p. 181-182.

11. **Б.И. Брустин.** "Об инициативе Г.Н. Флерова по возобновлению прерванных войной работ по урановой проблеме". Машинопись. Архив Ю.Н. Смирнова.

12. Беседа с И.И. Гуревичем, 1988 г. Архив Ю.Н. Смирнова.

13. **П. Асташенков**. Курчатов. Серия ЖЗЛ. Издательство ЦК ВЛКСМ "Молодая гвардия", Москва, 1967 г., стр. 130.

14. **П. Асташенков**, цит. соч., стр. 130.

15. **П. Асташенков**, цит. соч., стр. 131.

16. Вопросы истории естествознания и техники. Москва, Наука, 1992, N3, стр. 114-115.

17. **Г.Д. Смит.** Атомная энергия для военных целей. Москва, Трансжелдориздат, 1946, стр. 228 (Smyth, Henry DeWolf. Atomic Energy for Military Purposes. USGPO. 1945).

18. **Д. Ирвинг.** Вирусный флигель. Атомиздат, Москва, 1969 г., стр.44 (David Irving. The Virus House. William Kimber, London, 1967).

19. **В. Вайскопф.** Центральное телевидение, 5 марта 1988 г., Телемост Москва-Бостон: "Начало гонки ядерных вооружений".

20. **Р. Мур.** Нильс Бор — человек и ученый. Издательство "Мир", Москва, стр. 380-407 (Ruth Moore. Niels Bohr the Man and the Scientist. London, Hodder & Stoughton, 1967). См.также Ю.Н. Смирнов, "Допрос" Нильса Бора: свидетельство из архива, Вопросы истории естествознания и техники, 1994, N4, стр.115 (Yuri N. Smirnov "The KGB Mission to Niels Bohr: Its Real "Success", Cold War International History Project Bulletin, Issue 4, Fall 1994, Pp. 55-57).

21. "(Риск-II): как быть с историей?", газета "Известия", 5 августа 1988 г.

22. **С.В. Кафтанов**. "По тревоге", Химия и жизнь, N3, 1985 г.,стр. 6-12.

23. **David Holloway**. Stalin and the Bomb. Yale University Press, New Haven & London, 1994, pp. 84-87.

24. "Рассказ профессора Балезина", Химия и жизнь, N6, 1985 г., стр. 18-19.

25. Письмо проф. С.А. Балезина президенту АН СССР акад. А.П. Александрову. В книге: А.С. Балезин, Ф.Б. Гликина, Э.Г. Зак, И.А. Подольный. Степан Афанасьевич Балезин. Москва, "Наука", 1988 г., стр.170.

26. **С.А. Балезин.** "Из истории организации научно-исследовательских работ по использованию атомной энергии". Машинописная рукопись из архива С.А. Балезина. Стр.3.

27. **М.Г. Первухин.** "Первые годы атомного проекта", Химия и жизнь, N5, 1988 г., стр.67.

28. **А.С. Балезин и др.** Цит. соч., стр. 33.

29. Слово о Забабахине. Сборник воспоминаний. ЦНИИатоминформ, Москва, 1995 г., стр. 30, 119.

НЕЗАБЫВАЕМЫЕ ГОДЫ, САРОВ 1947—1955 гг.
(Посвящается В.А. Цукерману)

А.А. Бриш

Вениамин Аронович Цукерман был привлечён Ю.Б. Харитоном к разработке ядерного оружия 50 лет тому назад, с момента создания КБ-11 (ныне Российский Федеральный Ядерный Центр — ВНИИ экспериментальной физики).

С помощью рентгенографических, фотохронографических, осциллографических методик, разработанных под руководством В.А. Цукермана, была получена информация о возникающих в конструкции заряда состояниях, длящихся миллионные доли секунды. Эти сведения были необходимы для обоснования работоспособности первого атомного заряда.

В.А. Цукерман относится к выдающимся учёным, внёсшим существенный вклад в создание ядерного оружия и воспитавшим большое число учёных, которые расширили наши познания в новых областях науки. Ему принадлежит выдающаяся роль в создании, развитии импульсной рентгеновской техники и её широком применении в газодинамических исследованиях.

Круг научных интересов В.А. Цукермана был обширен. Во все направления работ, которыми В.А. Цукерман занимался, он внёс существенный вклад. Для него были характерны высочайшая энергия, целеустремлённость, изобретательность, смелость и фантастичность идей, и в то же время чувство реальности, стремление обязательно получить практические результаты и довести дело до реальной конструкции. И при этом ему присущи были большая увлечённость и умение увлечь окружающих на реализацию, казалось бы, на первый взгляд фантастических идей.

Ю.Б. Харитон писал:

"Трудно представить себе, что весь фантастический объём работ выполнен человеком, который не видит. Это звучит неправдоподобно. Вениамин

Аронович, несмотря на тяжелейший недуг, сделал так много, что жизнь его хочется назвать подвигом".

К сожалению, он умер 25 февраля 1993 г.

Не имея возможности остановиться на всех, или хотя бы основных работах, которые выполнены совместно с В.А. Цукерманом, остановлюсь только на отдельных работах, которые выполнены в 1947-1955 гг.

1. ОТКРЫТИЕ ЯВЛЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН

Характерной особенностью открытого при исследовании процесса взрыва явления было то, что его не признавали и приводимые доказательства считали несостоятельными.

Эти результаты не соответствовали существовавшим тогда теоретическим и экспериментальным оценочным данным. Не все теоретики восприняли полученный результат с доверием. Даже Яков Борисович Зельдович долго не верил в открытую экспериментаторами проводимость и требовал дополнительных обоснований, поскольку электропроводность диэлектриков повышалась на много порядков (для воды на 5-6 порядков, для парафина на 15-20 порядков).

Ю.Б. Харитон со своим всегдашним стремлением разбираться до конца, считал необходимым разобраться и в этом вопросе.

В методическом плане, в то время (1947 г.) не имея аппаратуры и навыков дистанционных измерений быстро меняющихся при взрыве (за десятые и сотые доли микросекунды) сопротивлений, нам пришлось вложить много труда в разработку оригинальных методик измерения.

Проведённые затем систематические исследования полностью подтвердили, что открыто новое, ранее неизвестное явление — эффект высокой электропроводности продуктов взрыва в детонационных волнах и диэлектриков в ударных волнах. Опыты подтвердили стабильность и повторяемость результатов при измерении сопротивлений различными методиками.

Результаты исследований изложены в ряде отчётов института в 1947-1950 гг.

В 1959 г. была опубликована статья А.А. Бриша, М.С. Тарасова, В.А. Цукермана "Электропроводность продуктов взрыва" ЖЭТФ, том 37, вып. 6(12), а в 1960 г. статья тех же авторов "Электропроводность диэлектриков в сильных ударных волнах" ЖЭТФ, том 38, вып. 1.

До сих пор эти работы являются предметом многочисленных ссылок отечественных и зарубежных исследователей.

Я.Б. Зельдович и Ю.П. Райзер в своей книге "Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений" 1966 г. посвятили

электропроводности параграф "Электропроводность неметаллических тел в ударных волнах".

Открытие помогло и в решении прикладных вопросов.

Разбираясь в конфликтном вопросе о скорости продуктов взрыва, мы не только выяснили причину её занижения, но и, уточнив схему измерений и конструкцию датчика, измерили реальную скорость продуктов взрыва, подтвердив правильность расчётов теоретиков под руководством Я.Б. Зельдовича по первой атомной бомбе. Ниже об этом будет сказано подробней (п.2).

В основную методику газодинамических исследований — электроконтактную — были внесены уточнения, вытекающие из высокой электропроводности в детонационных и ударных волнах.

В ноябре 1950 г. Игорь Евгеньевич Тамм рецензировал нашу работу "Электропроводность диэлектриков при давлениях 10^5-10^6 атмосфер". Он писал: "Исследования авторов привели их к открытию нового, очень интересного физического явления, заключающегося в том, что при давлениях указанного порядка все исследованные диэлектрики (тротил, вода, парафин, плексиглас и т.д.) приобретают почти металлическую электропроводность. Как показано в работе, эта электропроводность не может обуславливаться термической ионизацией вещества, а должна быть приписана таким причинам, как электропроводность твёрдых проводников при обычных явлениях... причина открытого авторами явления должна лежать в большой плотности вещества... На основании физической теории можно было бы предвидеть, что при достаточно большом сжатии все вещества должны становиться проводниками электричества. Однако сложность явления не позволяет теоретически предвычислить ту степень сжатия, при которой это явление должно наступить.

Резюмируя, нужно констатировать, что выполнено очень тонкое и детальное экспериментальное исследование, ставшее возможным благодаря применению уникальной экспериментальной техники; авторы впервые обнаружили новое физическое явление, представляющее большой научный интерес, а именно, переход диэлектриков при большом сжатии их в электропроводящее состояние".

2. ИЗМЕРЕНИЕ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МЕТОДОМ

Осенью 1948 г. возникают разногласия по поводу величины скорости продуктов взрыва (ПВ) смеси тротила и гексогена (ТГ 50/50).

В лаборатории Е.К. Завойского, измерив скорость ПВ электромагнитным методом, получили скорость меньше, чем в лаборатории В.А. Цукермана рентгенографированием смещения фольг, помещённых внутрь заряда и в лаборатории Л.В. Альтшулера "методом преград". Если результаты Е.К. Завойского верны, то успешные испытания конструкции готовящегося атомного заряда были поставлены под сомнение. Разногласия были серьёзные и

наилучшим способом их разрешить было бы повторить измерения скорости ПВ электромагнитным методом.

В лаборатории В.А. Цукермана была создана для этой цели группа, в которую вошли М.С. Тарасов, А.И. Баканова (из лаборатории В.А. Альтшулера), П.М. Точеловский и К.А. Алимкина. Руководство группой поручили мне, учитывалось при этом, что я был знаком с магнитными измерениями, т.к. работал в ИМАШ в магнитной лаборатории.

Для проведения опытов необходимо было иметь не разрушаемые взрывом электромагниты весом несколько тонн, мощный источник постоянного тока, приборы и приспособления для точных измерений напряжённости магнитного поля, а также осциллографическую аппаратуру и методику проведения опытов.

Кроме того, необходимо было изготовить заряды ВВ с П-образными датчиками и линзой, формирующей плоскую детонационную волну.

Все эти работы проводились в быстром темпе, так что уже через неделю мы начали первые эксперименты.

Начали мы с воспроизведения опытов с применением датчиков из меди и латуни с размерами как у Е.К. Завойского. Сразу же были выявлены недочёты в схеме измерений и постановке опытов. Получили примерно такие же, как у него, скорости продуктов взрыва. По характеру осциллографических кривых (без последующего уменьшения скорости) было сделано предположение, что датчики быстро разрушаются и разрывы шунтируются высокой электропроводностью продуктов взрыва.

Измерения на датчике без металлической перегородки, где замыкание происходит движущимися продуктами взрыва, также дали заниженные результаты.

По предложению Л.В. Альтшулера, в качестве материала датчика был применён алюминий, волновая и массовая скорости у которого и плотность ближе к соответствующим характеристикам сплава ТГ 50/50.

Экспериментально были подобраны размеры и толщина датчика.

В результате была определена скорость продуктов взрыва, которая оказалась близкой к той, которая была использована в расчётах атомного заряда. Сомнения в конструкции заряда были сняты. Испытания первого атомного заряда в августе 1949 г. прошли успешно.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ СХЕМ МНОГОТОЧЕЧНОГО СИНХРОННОГО ПОДРЫВА ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ (ЭД)

Для одновременного многоточечного возбуждения детонации и точной синхронизации стадии взрыва с моментом регистрации процесса необходим был точный быстродействующий ЭД. Такой ЭД был разработан НИИ-6. Он был чрезвычайно чувствителен и требовал весьма осторожного обращения.

Неприятности начались сразу же, как только развернулись взрывные эксперименты. В первый год произошло несколько несанкционированных

взрывов ЭД. По счастливой случайности они не были отягощены смертельными случаями.

Уже в 1948 г. В.А. Цукерман совместно со мной провёл анализ возможных конструкций точных ЭД и схем многоточечного синхронного подрыва. Исследования были оформлены специальным отчётом.

В результате был разработан более безопасный точный ЭД КМ-2, который сразу же стал изготавливаться и применяться в экспериментальных работах.

В проведённых исследованиях удалось экспериментально показать возможность создания точного ЭД без инициирующих веществ. Позднее в 1960 г. было получено авторское свидетельство на изобретение быстродействующего детонатора (БЭД) без инициирующих веществ (авторы Л. Байков, А. Бриш, А. Владимиров, В. Лобанов, М. Тарасов, В. Чернышев, В. Цукерман).

Внедрение БЭД существенно повысило безопасность ядерных боеприпасов, а также проведение испытаний ядерных зарядов и газодинамических опытов.

4. СОЗДАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ НЕЙТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ИНИЦИИРОВАННОГО АТОМНОГО ВЗРЫВА

Как известно, взрыв атомного заряда производится специальной автоматикой, в которой одним из наиболее важных узлов является нейтронный источник. Такие источники располагались внутри атомного заряда и обладали рядом существенных конструктивных и эксплуатационных недостатков. Расположение источников внутри заряда создавало значительные трудности при разработке новых, более эффективных зарядов.

В ноябре 1948 г. Я.Б. Зельдович и В.А. Цукерман предложили использовать для получения нейтронов высоковольтный ускоритель, расположенный вне заряда.

Возможность создания такого внешнего источника нейтронов многократно обсуждалась в течение 1948-1949 гг. с привлечением специалистов по ускорительной и высоковольтной технике. В частности, к разработке амперного нейтронного источника были привлечены специалисты радиотехнической лаборатории АН СССР.

Вскоре стало ясно, что создавать внешний нейтронный источник приемлемых габаритов и веса, используя существующие в то время знания по импульсным ускорителям, высоковольтным элементам и технологии, не представляется возможным и реальным.

Ю.Б. Харитон, заручившись поддержкой И.В. Курчатова, поручил В.А. Цукерману и его лаборатории начать в 1950 г. исследования возможности разработки внешнего нейтронного источника и создал для этих целей специальную группу. Возглавить эту группу поручили мне. Вначале в неё вошли сотрудники лаборатории, работавшие вместе со мною по исследованию

электропроводности продуктов взрыва и схем многоточечного инициирования. Это были — М.С. Тарасов, П.М. Точеловский и К.А. Алимкина.

Начали работу с создания высоковольтных источников, вакуумных установок, методик измерений и измерительной аппаратуры. Исследования велись быстро, и уже к середине 1950 г. были получены большие дейтронные токи, разработана разборная нейтронная трубка и получен нейтронный импульс необходимой интенсивности. Следует отметить, что к проблеме создания импульсного нейтронного источника проявлял большой интерес Г.Н. Флёров, который тогда работал в КБ-11.

Через год, весной 1951 г., была изготовлена первая запаянная нейтронная трубка. К работе были привлечены новые сотрудники — молодые специалисты А.И. Белоносов, Е.А. Сбитнев, Д.М. Чистов, А.П. Зыков. Настало время определяться с внешним нейтронным источником и всей новой автоматикой подрыва для авиабомбы. Были сформулированы технические задания на узлы и элементы этой автоматики, найден новый принцип построения управляемого коммутирующего элемента, пригодного для использования в новой автоматике подрыва.

В 1952 г. был изготовлен экспериментальный образец автоматики подрыва атомного заряда и проведены его всесторонние испытания и исследования, закончившиеся наземным опытом с подрывом имитатора заряда.

В сентябре 1952 г. научно-технический совет КБ-11 под председательством И.В. Курчатова одобрил проведённую работу и принял решение испытать в 1954 г. новую автоматику подрыва в составе авиабомбы РДС-3.

К работам были подключены сотрудники из сектора, возглавляемого Н.Л. Духовым. Активное участие в работах приняли С.А. Хромов, К.А. Желтов, Л.В. Татаринцев, В.Д. Шумилин и другие. От теоретиков Я.Б. Зельдович привлёк Н.А. Дмитриева и В.П. Феодоритова.

К началу 1953 г. были готовы все исходные данные для проектирования блока автоматики подрыва. Для разработки чертежей и изготовления опытной партии автоматики подрыва и необходимой контрольной аппаратуры и оснастки было подключено Конструкторское бюро 25 Министерства авиационной промышленности, для изготовления отдельных узлов и элементов — ряд других предприятий.

В течение 1953 г. эти работы были широко развёрнуты. Крепла уверенность в реальности успешного завершения начатого дела.

Ю.Б. Харитон проявлял интерес к работе, а в 1954 г., когда определились сроки полигонных испытаний, требовал ежедневного доклада о ходе подготовки к испытаниям.

Первые образцы новой автоматики уже заводского изготовления подверглись тщательным исследованиям и испытаниям, и в июле 1954 г. на испытательной площадке КБ-11 были выполнены успешные наземные испытания бомбы РДС-3 ИНИ с макетом ядерного заряда.

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования и испытания явились основой для выпуска в сентябре 1954 г. отчёта "Атомная бомба с внешним нейтронным источником", авторами которого были А.А. Бриш, Я.Б. Зельдович и В.А. Цукерман.

В сентябре-октябре 1954 г. новая автоматика прошла лётные испытания в составе макетов атомной бомбы со сбросами с самолёта, в октябре-ноябре 1954 г. — успешные полигонные испытания двух типов атомных бомб с новой автоматикой подрыва на Семипалатинском полигоне.

Начался новый этап развития автоматики подрыва и нейтронного инициирования и внедрение её в ядерные боеприпасы и испытания ядерных зарядов.

Никто не ожидал, в том числе В.А. Цукерман и Я.Б. Зельдович, что с этих испытаний начнётся долгий путь новой автоматики, что будет создана специальная отрасль производства и разработок. И сейчас, через 42 года, продолжается её дальнейшее развитие. Идея В.А. Цукермана и Я.Б. Зельдовича оказалась чрезвычайно плодотворной.

К ИСТОРИИ ПОЕЗДКИ СОВЕТСКИХ ФИЗИКОВ В ГЕРМАНИЮ (май — июнь, 1945 г.)

И.С. Дровеников, С.В. Романов

Жанр устной истории, к которому относится настоящее сообщение, претерпел за последние три десятилетия и подъем, и упадок. После бума 1960-х и начала 1970-х годов, возвещавшего об обретении "живых голосов истории", он пошел на Западе, там же, где и начинался, на спад, не выдержав конкуренции с традиционными методами в достоверности собираемых сведений. Соответственно, оказались дезавуированными присущие устной истории сюжетные вариации, интонационный подстрочник и все то, что способно порой пролить свет на скрытую формализмами и рассеянную в архивных россыпях мотивацию суждений, поступков, да и событий, наконец.

Так случилось, возможно, потому, что устная история — субстанция весьма тонкая, нуждающаяся в верификации, но не терпящая правки. Замените в предложенном ниже тексте аутентичное — "куртка полковничья" на правильное — "мундир", "гимнастерка" и вы получите униформу, а ее обладатель исчезнет. Исчезнет не только характер. Рутинная обработка, апологизация или, напротив, дискриминация устной истории — равным образом ведут к утере уникального инструмента разработки таких тем, как "ученый и общество", "этика науки" и других, схожих с ними, где на первый план выступает не статистически-обобщенное, "объективное", а индивидуальное, если угодно, — "субъективное". Что же касается такой специфической области, какой является "атомная история", устные свидетельства, эквивалентные извлечениям "социальной составляющей" из герметичного информационного массива неизменно играли и играют важную фактографическую роль.

Именно в этой связи и приводится далее историческая реконструкция, в основу которой положены воспоминания Исаака Константиновича Кикоина и Юлия Борисовича Харитона. Посильную лепту в начинание внес также брат академика И.К. Кикоина — Абрам Константинович, поделившись слышанным в свое время от него.

Воспоминания оказались записанными и сохраненными благодаря инициативам супруги Исаака Константиновича — Веры Николаевны Тюшевской, их внука — Сергея Валерьевича Романова и близких коллег академика: Анны Григорьевны Плоткиной и Евгения Михайловича Воинова. Указанные инициативы предпринимались с середины 70-х годов и вплоть до начала 90-х, которыми датируется интервью Юлия Борисовича Харитона.

Новое обращение к данным материалам обусловлено малоизвестностью обстоятельств, связанных с поездкой советских физиков в Германию в 1945 г. и уместностью их освещения, с целью введения в историко-научный оборот.

Среди тематически близких публикаций могут быть указаны, появившиеся во второй половине 90-х годов краткие (буквально в несколько строк) констатации факта подобной поездки в книге профессора Стэнфордского университета Д. Холлоуэя [Holloway D. Stalin and the Bomb: The Soviet Union and Atomic Energy, 1939-56.Yale University Press, 1994], а также в посвященном 50-летию атомной промышленности коллективном труде ["Создание первой советской ядерной бомбы". М.: Энергоатомиздат, 1995]. Более подробная информация, правда, в авторском изложении дана В.Н. Тюшевской в ее биографической работе [Тюшевская В.Н. Исаак Константинович Кикоин — страницы жизни. М.: ИздАТ, 1995].

Выделение темы урана не случайно. Во-первых, сами участники описываемых событий считали нахождение урана главным результатом своей деятельности в Германии. Во-вторых, проблема урана стояла тогда весьма остро.

Достаточно поднять Протокол заседания Президиума Академии наук СССР от 30 июля 1940 г., за N 21 [Архив РАН. Ф72, оп. 6а, д.25, л.72-74], где докладчиком был академик В.И. Вернадский, чтобы убедиться, что среди "мероприятий по дальнейшему изучению и возможному использованию внутриатомной энергии урана" изучение и разведка урановых месторождений, с целью создания государственного фонда металлического урана, являлись делом первостепенной важности. В силу чего академику А.Е. Ферсману, назначенному бригадиром поисковой группы Академии наук, в которую входил, кстати, и сам председатель "урановой комиссии" — академик В.Г. Хлопин, был дан целый ряд срочных поручений: от командирования в районы Средней Азии до координации, развертываемых геологоразведочных работ с Народным Комиссариатом Цветной металлургии.

Однако, и в 1944 г. ситуация с ураном оставалась крайне напряженной. В письме И.В. Курчатова от 29 сентября того же года на имя Л.П. Берии

читаем: "... положение дел остается совершенно неудовлетворительным. Особенно неблагополучно обстоит дело с сырьем..." [Цит. по факсим. копии письма И.В. Курчатова к Л.П. Берии от 29 сентября 1944 г. В Сб. Материалы юбилейной сессии Ученого совета РНЦ "Курчатовский институт". М.: РНЦ "КИ", 1993. С. 24-25].

Постановление же ГОКО-9887 от 20 августа 1945 г., с которым принято связывать рождение всей атомной отрасли, не далее как во втором пункте, следующем за утверждением состава Спецкомитета, прямо вменяет в его обязанности: "... широкое развертывание геологических разведок и создание сырьевой базы СССР по добыче урана, а также использование урановых месторождений за пределами СССР (в Болгарии, Чехословакии и др. странах)" [Цит. по тексту "Постановления" в Сб. К истории мирного использования атомной энергии в СССР. 1944-1951. (Документы и материалы) /Минатом России — ГНЦ Физико-энергетический институт. Обнинск: ГНЦ-ФЭИ. 1994. С.XV].

Но пора перейти непосредственно к событиям полувековой уже давности, доверившись их свидетелям и участникам, безыскусность слов которых сама по себе предостерегает историка от заносчивой оценки прошлого сообразно знаниям и критериям современности.

Итак, 2 мая 1945 года с одного из подмосковных аэродромов поднялся самолет, взявший курс на уже поверженный Берлин. Среди его пассажиров И.К. Кикоину запомнились, кроме, конечно, Ю.Б. Харитона, — Л.А. Арцимович и Л.М. Неменов. Возглавлял группу А.П. Завенягин. В.А. Махнев, по выражению "Ю.Б." был "кем-то вроде секретаря при нем". На этих двоих была генеральская форма. Остальные были облачены в полковничью. По-видимому, этим же или следующим самолетом летели Д.Л. Симоненко и В.А. Давиденко. Первый был в чине майора, звание второго наша история не сохранила.

Разумеется, эта группа не была единственной. Я.Б. Зельдович, например, оказался в другой, инспектировавшей "состояние ракетных дел" в двенадцатилетнем "третьем рейхе".

Какого-либо точного плана действий у группы, похоже, не было. О предстоящей поездке участники узнали в самом конце апреля. Посвящен в предстоящую задачу из ученых был лишь Ю.Б. Харитон, да и то в самом общем виде, а именно: "... посмотреть каково же состояние [дел], что удастся найти [и] в какой мере немцы продвинулись в разработке ядерного оружия".

"Дело в том, — дополняет его воспоминания И.К. Кикоин,— что когда мы начали работы, нас все время беспокоил вопрос: а не опередят ли нас немцы?" Так что опасения по обе стороны Атлантики были схожи, как впрочем, и результаты ревизии немецких работ ...

Прибыв 3 мая вечером в Берлин, группа на следующий же день — 4 мая — приступила к работе, растянувшейся на полтора месяца.

Надо сказать, что еще в самолете, когда А.П. Завенягиным была впервые официально оглашена суть их задания, он обратился к И.К. Кикоину с вопросом: какие тот знает немецкие институты, которые в принципе могли быть связаны с решением интересующих проблем. Такой список был тут же составлен и первое место в нем занял Институт Кайзера Вильгельма, за которым следовали Берлинский университет, Берлинское техническое училище и другие.

По прибытии в Берлин, продолжает И.К. Кикоин: "Мы связались с органами нашей разведки армейской, оказалось, что все эти институты, которые я перечислил, они уже были под охраной ... По-видимому, у них такая интуиция была, у армейской разведки".

"Обследование мы начали с Kaiser-института, директором которого до войны был Петер Дебай, а во время войны — Гейзенберг. Как выяснилось, Kaiser-институт в основном был эвакуирован в Западную Германию [точнее — в Тюрингию, еще в феврале], хотя здание Института [и] уцелело. В качестве замдиректора там остался Бивелога, охранявший жалкие остатки оборудования".

Знакомство с ним состоялось 4-го мая. "Он нас встретил. Я-то его знал, а ему-то фамилию мою не называли, естественно... Мы были в полковничьих формах. Я попросил, чтобы он показал нам секретные сейфы. Я, правда, мало надеялся, что он покажет их. Конечно, они уничтожены. Однако, оказалось, что он не уничтожил. Он нам отдал ключи и показал, где находятся сейфы секретные. Мы их вскрыли. Они набиты были документами, и ничего не было уничтожено. Мы спросили: "Почему не уничтожены сейфы?" Он сказал, что получил указание такое, что сейф[ы] уничтожить либо по прямому указанию по радио, которое он должен получить, либо придет с соответствующим паролем человек, который даст ему указание уничтожить сейфы, [и заключил]: "Ни того, ни другого нет, и поэтому сейфы я не уничтожил, не имел право уничтожить сейфы".

Несмотря на то, что армия вошла в Берлин, он сейфы так и не уничтожил. С немецкой аккуратностью. Но, правда, институт-то был эвакуирован почти весь, там уже мало, что сохранилось. Остался он и несколько сотрудников второстепенных... Но документы остались все!"

"Среди секретных документов, — развивает рассказ И.К. Кикоин, — мы нашли урановый проект. Мы не ошиблись, действительно Kaiser-институт был основным в этой проблеме. По просмотренным документам нам стало ясно, что немцы нас не обогнали, напротив, они в интересующих нас вопросах находились на очень низком научно-техническом уровне. Правда, они экспериментально наблюдали начало цепной реакции (размножение нейтронов). В качестве замедлителя они использовали тяжелую воду, которую получали из Норвегии. Мы обнаружили два 5-литровых бидона с тяжелой водой, на которых были этикетки с надписью "Norsk Hydro". Там же мы

нашли некоторое количество металлического урана и несколько килограмм[ов] окиси урана.

Кое-что из оставшегося в Kaiser-институте оборудования мы демонтировали и отправили в Москву (электрощиты, приборы). Несколько весьма наивных установок для разделения изотопов мы также отправили в Москву...

Судя по просмотренным документам, проф. Harteck в Гамбурге занимался центробежным методом разделения изотопов, но безуспешно.

Мы выполнили поручение Правительства и пригласили на работу в СССР профессоров Герца, Манфреда фон Арденне и Тиссена. Другая группа наших ученых привлекла профессора Риля, крупного специалиста по металлургии урана и других известных немецких ученых".

Собственно говоря, на этом деятельность миссии можно было бы считать завершенной, и даже успешно, но неудовлетворительное состояние дел в немецком урановом проекте обернулось заметным, при внимательном знакомстве с мемуарами, разочарованием и неудовлетворенностью собственными результатами командировки, что имело неожиданные последствия...

"Мы решили с Кикоиным,— вспоминает Ю.Б. Харитон,— что надо заняться другим делом. Поскольку немцы заняли практически всю Европу, кроме Испании и Португалии, они находились также и в Бельгии. Как всем хорошо известно, в бельгийской колонии в Африке — Конго — крупные залежи урана, и поэтому очень вероятно, что какое-то количество урана немцы захватили в Бельгии, и надо поискать, где же этот уран находится. Ну вот мы и начали работать ... О необходимости поисков урана мы сообщили А.П. Завенягину, он горячо поддержал это. Выделил в наше распоряжение машину с водителем, чтобы мы могли свободно по Германии ездить".

"Хотя наша разведка и уверяла нас, что уран эвакуирован, мы все же не теряли надежды его обнаружить, — вновь продолжает И.К. Кикоин, — Как-то в воскресный день, совершая экскурсию по окрестностям Берлина, мы попали в Grunau. Там мы обнаружили небольшой полуразрушенный завод и зашли на его территорию. Нашли главного инженера этого завода и спросили, чем занимался этот завод? Оказалось, что до войны там делали краски, а во время войны — противогазы. Он провел нас мимо разрушенных цехов, и потом мы расстались, решив вернуться в Берлин.

Но на обратном пути мы заблудились и встретили на территории завода девушку, которая взялась вывести нас к машинам. В разговоре с ней выяснилось, что она работает в бухгалтерии завода. Она перечислила все цеха. Мы спросили: "Это все?" На что она ответила: "Есть еще здание, но оно всегда было закрыто и что делалось в нем, я не знаю". Об этом здании главный инженер нам почему-то ничего не сказал. Мы попросили ее проводить нас туда.

Это было небольшое здание площадью 10x5 м, совсем не разрушенное, с закрытыми на замок воротами. Мы попросили часового отбить замок и

вошли в пустой зал, по торцам которого стояли горны из огнеупорного кирпича. Около горнов был рассыпан желтый порошок. В углу мы нашли лестницу, ведущую в подвал. В подвале была лаборатория, в которой не было ничего кроме лабораторного шкафа. В одном из ящиков этого шкафа мы обнаружили банку с окисью урана. На этикетке было написано: "спецметалл". Затем нашли банку с торием и металлическим ураном. В каждой банке было по несколько килограммов продукта. Стало очевидно, что в этом помещении занимались урановой проблемой.

Решили задержаться и посмотреть бухгалтерские приходно-расходные книги. Попросили сопровождающую нас девушку проверить по накладным приход "спецметалла". Пролистав несколько томов, она нашла, что в феврале 1945 г. на завод прибыла партия "спецметалла" в количестве нескольких сотен тонн. Место нахождения этого металла девушка не знала. Накладная была от фирмы "Rohes".

Это было акционерное общество "Rohestoffgeseleshaft", которому было поручено распределение сырья по промышленным объектам. Вероятно, это сырье они получали из Бельгии. Мы решили проверить бухгалтерские документы на исходящие материалы и, с помощью все той же девушки, нашли, что в апреле был приказ [от] "Rohes" отдать весь этот материал фирме "Hoffman und Moltzen" и отправить его в город Parhim.

В этот город, расположенный на севере Германии, мы поехали с Ю.Б. Харитоном на машине. Явившись к коменданту города (город был сдан без боя и, следовательно, не был разрушен), мы, предъявив свои документы (от начальника тыла армии генерала Хрулева с приказом оказывать нам всяческое содействие), сказали, что ищем склад со "спецметаллом" в количестве несколько сотен тонн. Комендант дал нам сопровождающих, и мы в течение 3 дней ездили по городу, но безуспешно.

После этого мы вернулись в Берлин (мы жили в Neuhagen'е [столичный пригород]), решив поискать накладные на станции Grunau, но оказалось, что станция сгорела. Тогда мы обратились к карте с целью установить, по какой железной дороге мог быть отправлен груз из Grunau в Parchim и убедились, что это неосуществимо, т.к. все железные дороги к этому времени уже были перерезаны.

Тогда мы решили отыскать фирму "Rohes". На накладных был указан ее адрес: Berlin, Tirpizufer, 26-28. Однако оказалось, что это здание полностью разрушено. Нам сообщили, что фирма выехала по нескольким адресам".

Визит по одному из них помечен в воспоминаниях И.К. Кикоина лишь фразой, что там "... мы нашли документы в полном хаосе и ничего не смогли из них выжать". Это "... было помещение с картотекой "Rohes" близ Берлина, ... на берегу Шпрее, — припоминает Юлий Борисович, запечатлевшееся в сознании, — высокое семиэтажное здание. Там было некоторое количество женщин, ну таких явных фашисток, потому что наши попытки получить у них какую-то информацию были тщетны. Они всячески укло-

нялись от каких бы то ни было ответов. Но здание произвело на нас сильнейшее впечатление. Это было несколько этажей сплошь заполненных гигантской картотекой. Мы пробовали получить помощь разобраться в картотеке у этих немок, но они толком нам не помогли. Но как-то нам повезло и в общем мы нашли после сравнительно недолгих поисков карточку с U 43 0O 48 0, но без каких бы то ни было указаний ни о количестве его, ни о том, где он находится. А наши попытки добиться у этих немок, что должна быть где-то запись, куда что отвезено, где что находится [следовал ответ]: "Нет, мы не знаем и т.д." Ничего, кроме того, что U 43 0O 48 0 действительно имеется, мы не нашли.

После дальнейших расспросов кто-то из немцев нам сказал, что слышал, что какое-то количество окиси урана имеется на большом складе. Это такой организованный склад, где хранятся самые разнообразные вещи — коммерческое предприятие. Что будто бы он находится в городке, название которого я не помню, находящемся километрах в 50 от Берлина на восток. Мы туда приехали в этот городок, нашли этот склад и там обнаружили то ли 2, сейчас уже не помню, но, в общем, какое-то ничтожное количество, ящиков, таких больших деревянных, в которых было некоторое количество окиси урана. Спрашивали у работников: "Где же еще? Ведь не один ящик был!" — " А вот приезжали тут русские солдаты, они искали краску для какого-то здания для своего начальства". Была организована отделка какого-то здания. Вот они увидели этот желтый порошок, который явно очень подходил для разбавления краски. Солдаты увезли его, чтобы красить какое-то здание. Так что эта поездка оказалась не совсем удачной. Но там, по-видимому, было вообще не очень много ..."

Подходящий момент, чтобы вспомнить о других адресах, по которым выехала фирма "Rohes", и опять предоставить слово Исааку Константиновичу.

"По одному из адресов — в Потсдаме — оказались трофеи из СССР,— но, главное, замечает И.К.,— в Потсдаме мы узнали фамилию начальника, ведавшего трофеями из Бельгии и через наш "СМЕРШ" попросили найти его. Через два дня его доставили нам под конвоем. Оказалось, что это был крупный фашист. Он подтвердил, что был начальником отделения этой фирмы.

На наш вопрос: "Где спецметалл?" — он ответил, что не помнит, был ли он вообще. Мы ему напомнили про Grunau. Тогда он припомнил, что вроде такой случай был, но что было дальше, он не помнит. После этого мы ему сказали, что нам известно об его распоряжении отправить "спецметалл" в Parchim. Тогда он ответил, что, наверное, продукт там и находится. Когда же мы ему сказали, что "спецметалла" там нет и быть не может, то он твердо ответил, что ничего не помнит. Мы расстались с ним и попросили военных допросить его. На следующий день он все вспомнил и сказал, что груз был направлен в Neustadt.

К нашему удивлению, на карте мы обнаружили около 20 городов с таким названием, десять из которых находились в нашей зоне. Тогда мы решили их объехать. В девяти Neustadt'ах мы ничего не нашли. Последний, десятый, был на границе нашей и английской зон. Мы поехали искать этот город.

Это оказался Neustadt am Glewe — маленький поселок при кожевенном заводе. Наш советский комендант выделил нам сержанта, и мы отправились на завод. Это был действующий завод, выпускавший кожу [уже] для Советского Союза. На заводе мы нашли склад, который был открыт. Это был большой зал, в котором около входа, слева, находилась груда бочонков, в которых находился какой-то желтый порошок. На нескольких бочонках сохранилась надпись — "окись свинца". Это было дубильное вещество, применяемое в кожевенной промышленности. В заднем углу виднелась большая груда таких же бочонков и поэтому мы решили их не смотреть.

Старичок, главный инженер, принял нас у себя в кабинете и подробно рассказал нам про осмотренные нами цеха. Я его спросил: "Имели ли вы дело с фирмой "Hoffman und Moltzen"?". Он ответил: "Мы ее услугами не пользовались, но недавно получили приказ нашего гауляйтера предоставить наш склад в распоряжение этой фирмы, что мы и сделали. Фирма поместила там какой-то груз". Я ему сказал, что мы видели там бочки с окисью свинца, на что он ответил: "Это наш свинец, а вот в другом углу — это бочки не наши". Мы сделали равнодушный вид, хотя признаться, были крайне взволнованы.

Попрощавшись с главным инженером, мы бегом отправились на склад и, внимательно осмотрев злополучные бочки, на одной из них обнаружили забытую этикетку, на которой было написано "Uranium oxid" [окись урана]. Это и был груз, который мы так долго и упорно искали!

Наутро мы связались по телефону с заместителем Л.П. Берия — тов. Завенягиным А.П. Вначале он решил, что мы его разыгрываем. Тогда я ему вполне официально доложил: "Докладывает полковник Кикоин! Прошу направить в мое распоряжение колонну машин для перевозки ценного груза".

Наутро машины были на месте. С помощью коменданта мы мобилизовали население, и погрузка была закончена в течение одного дня".

Не обошлось, впрочем, без курьезов. Об одном из них уместнее всего узнать от самого Юлия Борисовича.

"Уран необходимо было подготовить к отправке. Бочки некоторые были полные, некоторые по полбочки. Для того чтобы загрузить на поезд, надо было сделать полные бочки. В наше распоряжение выделили, организовали группу женщин, которые должны были перегрузить порошок так, чтобы подготовить к отправке полные бочки. Я тогда допустил некоторую глупость, но я считал себя не вправе этого не сделать. Я сказал им, чтобы когда они кончат работу, чтобы они как следует вымыли руки. Тогда они как-то

испугались: "Яд! Отрава!" В общем, подняли бунт. Тогда мне пришлось сказать им, что это вовсе не яд. Чтобы это продемонстрировать, я снял куртку полковничью и голыми руками влез в бочку, натер себе руки, чтобы показать, что ничего страшного нету. Потом надел снова куртку. Женщины успокоились. Они эту работу до конца выполнили. Мы вернулись, доложили Завенягину об этом деле. Бочки были немедленно отправлены. Там оказалось свыше 100 тонн урана".

О другом эпизоде, завершавшем "урановую эпопею", поведал "der grosser Oberst, der so ausgezeuchnet deutsch spricht" ("большой полковник, так хорошо говорящий по-немецки"), как окрестили немцы Исаака Константиновича.

"Груз был направлен в Берлин, а оттуда в Советский Союз. По накладным нам все же не хватало 12 тонн "спецметалла". Мы нашли место, где он должен был находиться. Это место оккупировали наши моряки, которые использовали порошок для окраски судов. Моряки ни за что не хотели отдавать свои трофеи "какой-то пехоте". С помощью морского командования мы все же вернули эти 12 тонн и отправили их также на Родину".

Вот, пожалуй, и все ... Или нет?

Почему много лет спустя, в конце 84-го, уже, лежа в больнице в ожидании неизбежного, академик Кикоин вспомнит эту поездку в Германию и скажет, что это были "самые интересные полтора месяца его жизни! ...".

Может быть, потому, что тогда ему было -37, а Харитону — 41, и все происходившее походило на приключение, которого так ждешь в юности, но на которое не столь щедра судьба ученого? Или запомнилось то, как они в ночь с 8-го на 9-ое мая, разбуженные беспорядочной стрельбой, решили, что это немецкий налет, и, выскочив на улицу, от первого же солдата услышали радостное: "Победа, товарищ полковник! Победа!" И оказалось, что из штаба Жукова в Karlhorst'е, который был рядом с резиденцией миссии в Neuhagen'е, пришло известие, что только что подписан акт о безоговорочной капитуляции. Капитуляции фашизма ...

А, может быть, запомнилась одна из девушек-регулировщиц, которая, прямо как в кинохронике, на вопрос сопровождавшего их генерала о дороге, лихо козырнув, ответила: "Товарищ генерал! На Москву все дороги ведут!" Еще, может быть, запомнилось часто поминаемое в мемуарах высокое и заслуженное всей страной уважение к их полковничьим погонам, которое они ощутили, проезжая через оккупационные зоны, когда винтовки брались "на караул", даже без предъявления документов.

Ну, а может быть, запомнился парад союзных войск под Берлином, когда на трибуне стояли вместе Жуков, Монтгомери и Эйзенхауэр, или Парад Победы, вскоре по возвращении на Родину, когда на Кремлевских трибунах стояли и они — ядерщики, разделяя общую радость дня и принимая на себя скрытую от большинства ответственность за дни будущие ...

Кто знает, что вспомнилось спустя 39, столько вместивших в себя лет, уже академику и дважды Герою ... Возможно все вместе, сплетенное в

стихийную гармонию жизни и своего места в ней, в те длинные, но такие недолгие дни мая 45-го.

27 сентября 1992 года, другой академик и трижды Герой — Юлий Борисович Харитон — сообщил в связи с описанными событиями следующее: "Как-то, я помню, мы ехали куда-то на объект или в другое место вместе с Игорем Васильевичем [Курчатовым] и он сказал, что эти 100 тонн помогли примерно на год сократить срок запуска первого промышленного реактора "А". Лабораторный реактор "Ф-1", как известно, был сделан в 1946 году в ИАЭ. А вот первый промышленный реактор, так как с ураном было очень туго в России, то он пришелся очень кстати; позволил сократить срок запуска и получения плутония, соответственно".

На год... На целый год, уже в хронике холодной войны.

Впрочем, ... "Этот вывод условен...", — читаем мы на 85-й странице ранее упомянутого и вышедшего под грифом Минатома РФ юбилейного издания "Создание первой советской ядерной бомбы". Фраза, заключающая два абзаца, отведенные "официальной историей" занимающему нас сюжету, продолжается пояснением: "...так как 100 т не было достаточно для загрузки реактора Ф-1 и (А) ".

Оставив последний пассаж на совести маститой редколлегии, уклонимся от своего комментария, предоставив судить обо всем тем, кому был адресован этот завершившийся рассказ о трофейном уране и поездке советских физиков в мае-июне 45-го года в Германию.

КОРОТКО О СОЗДАТЕЛЯХ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Г.А. Соснин

В коротком выступлении не представляется возможным рассказать о той большой работе, которая предшествовала разработке конструкций первой отечественной атомной бомбы и о людях, сделавших эту работу. Поэтому я хочу рассказать о двух руководителях из числа очень многих, внёсших определяющий вклад в дело создания атомной промышленности в нашей стране, первыми удостоенных присвоения высших степеней отличия — почётных званий "Дважды Героя Социалистического Труда" — о Ванникове Борисе Львовиче, звезда дважды Героя № II-1 (первая звезда Героя за № 27 ему была присвоена в 1942 г. за успешную подготовку оборонной промышленности в предвоенные годы к условиям военного времени) и о Музрукове Борисе Глебовиче, звезда дважды Героя № II-2 (первая Звезда Героя № 51 ему была присвоена в годы войны на Уралмаш-заводе за освоение выпуска танков Т-34).

Первым, кому было присвоено звание "Трижды Героя Соц. Труда" в 1954 г., был так же Ванников Б.Л. (звезда Героя за № III-1). Сам факт того, что этим руководителям первым в Союзе были присуждены высшие почётные звания, уже говорит о том, насколько высоко был оценён их труд по созданию атомной промышленности как наиболее тяжёлый в цепи работ по становлению атомного зарядостроения в стране.

О создателях атомной промышленности и о разработчиках зарядов, в силу высочайшей секретности их работы, имеются очень скупые биографические сведения, по которым мало что можно сказать об этих выдающихся учёных и организаторах, поэтому воспоминания их современников позволяют будущим исследователям дать наиболее объективное представление об этих личностях.

О Ванникове Б.Л. некоторые представления можно почерпнуть из книги его воспоминаний "Записки наркома" ("Знамя" 1988 г. книга 1 и 2). Но эти воспоминания относятся к предвоенному периоду его деятельности на посту зам. Наркома оборонной промышленности и наркома вооружений до июня 41 г.

После этого срока в связи с его арестами, а позднее — в силу чрезвычайной секретности его работы, о последующем периоде жизни Ванникова по существу нет никаких сведений.

Лишь в 1995 г., по воспоминаниям его сына Ванникова Рафаэла Борисовича, журналист Михаил Ребров в газетной статье "Судьба наркома" ("Век" № 13, 1995 г.) описал события, когда по ложному обвинению службой Берия Л.П. Борис Львович был арестован и посажен в тюрьму на Лубянке. (За 3 дня до этого Борис Львович категорически отказал этой службе дать согласие на арест конструктора миномётов Шавырина).

В начале июля 1941 года Ванникову Б.Л., находящемуся в тюрьме, было предписано дать предложения по мероприятиям, связанным с эвакуацией оборонных предприятий из западных районов страны на Урал и за Урал. Он ещё не знал о начале войны, и поэтому такое задание его сильно удивило. Ведь это противоречило предвоенной концепции ведения войны — бить агрессора на его же территории.

Тем не менее, предложения им были написаны и представлены Сталину. Сталин одобрил предложенные мероприятия и распорядился освободить Ванникова, который при этом потребовал от Иосифа Виссарионовича письменный документ, реабилитирующий Бориса Львовича.

Ванникову Б.Л. было выдано удостоверение ГКО за № 1021, в котором говорилось:

"ГКО удостоверяет, что Ванников Борис Львович был временно подвергнут аресту органами НКГБ, как это выяснено теперь, по недоразумению и, что Ванников Борис Львович считается в настоящее время полностью реабилитированным.

Ванников по Постановлению ЦК ВКПб и СНК СССР назначен заместителем Наркома вооружений и по распоряжению ГКО должен немедленно приступить к работе в качестве зам. Наркома вооружений (Устинова Д.Ф.).

Председатель ГКО И. Сталин".

В конце 41г. уже по распоряжению Сталина Ванников вновь был арестован и посажен в лагерь.

Рассказ об этом событии мне довелось услышать лично от Бориса Львовича.

В 1958 г. Ванников приезжал к нам в институт по одному производственному вопросу, и после изучения вопроса на производстве он зашёл со своими выводами к Харитону Ю.Б., который в тот момент рассматривал представленный мной документ. Поскольку разговор с Борисом Львовичем мог для меня представлять служебный интерес, то Юлий Борисович не

удалил меня из кабинета, и я стал свидетелем очень интересного разговора. Обсудив вопрос, по которому Борис Львович приезжал в институт, Ванников стал приводить аналогии со своим опытом работы в оборонной промышленности, рассказывать о своих взаимоотношениях со Сталиным. После короткой паузы Борис Львович спросил Юлия Борисовича, знает ли он о том, что Сталин в конце 41 г. посадил его в лагерь, а в начале 42 г. также стремительно извлёк его из лагеря? Харитон подтвердил, что знает. Тем не менее, Борис Львович стал вспоминать события тех дней, и так как мне было известно только об аресте Ванникова в начале войны, то этот рассказ со всеми подробностями мне запомнился на долгое время.

Он рассказывал, как в январе 42 г. после возвращения с работ в барак он сразу же был срочно вызван к начальнику лагеря и от него тотчас отправлен из лагеря без каких-либо объяснений. В просьбе Бориса Львовича сходить в барак за личными вещами и попрощаться с товарищами ему было отказано, что не предвещало ничего хорошего, и Ванников в подавленном состоянии выехал из лагеря. С ближайшего аэродрома спец. самолётом он был доставлен в Москву, но зачем — ему никто не объяснил. Только проезжая мимо Кремля, когда машина свернула к Боровицким воротам, он понял, что едет к Сталину, поскольку кроме Сталина никто не мог бы вызвать Ванникова в Кремль. Войдя в кабинет Сталина, он остановился у двери. Сталин ходил вдоль стола, глядя себе под ноги. Наконец, он тихо заговорил о положении на фронтах, о трудностях (прежде всего с боеприпасами), которые испытывают войска. Только в этот момент Ванников понял, что разговора о расправе над ним не будет. Он несколько успокоился и стал внимательно слушать, стараясь понять, что хочет от него Сталин. Остановившись, Сталин сказал: "Мы решили реорганизовать Наркомат боеприпасов, а Вам предлагаем возглавить его". На это Ванников, указывая на свои стеганые штаны и валенки, спросил, как же он будет возглавлять Наркомат, если он — заключённый?

Тут Сталин внимательно посмотрел на него, словно впервые увидел его одежду, вяло махнул рукой и сказал, чтобы его это не беспокоило. Предложил сейчас поехать в гостиницу "Москва", где для него был забронирован номер, отдохнуть, а через 3 дня прийти в Кремль с предложениями по организации работы Наркомата таким образом, чтобы войска могли быть обеспечены боеприпасами уже в ближайшее время.

В номере гостиницы уже были приготовлены комплект белья и костюм его размера. Борис Львович привёл себя в порядок, поел и сразу стал связываться с известными ему директорами оборонных предприятий, приглашая их в гостиницу для бесед. То, что Ванников из Кремля был направлен в гостиницу, а не домой, говорит о том, что он, получив свободу общения с необходимыми людьми, оставался под наблюдением НКГБ.

Зная стиль и организацию работ Сталина — централизация власти и жёсткая персональная ответственность на любом уровне, Ванников с учётом

этих положений к установленному сроку подготовил предложения, в которых, в частности, подчинил Наркомату боеприпасов все предприятия-поставщики материалов и агрегатов, необходимых для производства боеприпасов.

После короткого рассказа о начале работы Наркомата боеприпасов Борис Львович сказал, что вообще-то со Сталиным легко было работать в том плане, что он, поручая работу, всю полноту власти предоставлял одному лицу, не вмешивался в организацию производства, т.е. предоставлял возможность руководителю действовать на своём участке работ как полновластному хозяину.

В то же время это был очень опасный человек. Сталин допускал отстаивание собеседником своей точки зрения, с ним можно было спорить, но когда он принимал решение — не выполнять его было недопустимо.

За невыполнение решений и плохую работу Сталин расправлялся быстро и жёстко. Причём степень расправы зачастую определялась не законом, а настроением, какое было у него в данный момент. Поэтому наказание обычно не было адекватным допущенному проступку.

После некоторой паузы Борис Львович сказал, что, несмотря на то, что Сталин сажал его в лагерь, у него нет на Сталина ни зла, ни обиды, потому, что в то время он действительно зарвался и его надо было одёрнуть. (В чём он "зарвался", Ванников не уточнил).

Такое высказывание Ванникова меня поразило, ведь прошло только 2 года после 20-го съезда КПСС (1956 г.), когда были вскрыты многие ошибки и перегибы в деятельности Сталина и его ближайшего окружения, а Ванников так терпимо отозвался о беззаконном обращении с ним.

Позднее, вспоминая этот рассказ, я старался понять: что это — самокритичное отношение как следствие высоких моральных качеств человека или последующая, очень напряжённая, ответственная и интересная работа на посту начальника ПГУ и председателя технического совета при ПГУ, а затем — первого заместителя Министра МСМ стёрла трагические воспоминания 16-ти летней давности? Вероятно — то и другое.

И вот, после таких коллизий, 18.08.45 Сталин предложил Ванникову заняться атомным проектом страны, поставив его во главе исполнительного органа (ПГУ) спец. комитета по атомной проблеме при Совете Министров СССР.

Это назначение, вероятно, не было случайным. Сталин знал, что Ванников имел большой опыт, приобретённый в годы войны, по воссозданию эвакуированных оборонных предприятий на новых местах, зачастую на "голом месте", был смелым, грамотным и самостоятельным руководителем крупных предприятий.

Большая работа Ванникова в 45-58 гг. ещё нуждается в должном освещении его организаторского таланта.

За успешное решение крупных производственных проблем Борис Львович многократно отмечался Правительственными наградами. Любопытен эпизод

введения званий неоднократных Героев Соц. труда (по воспоминаниям сына Ванникова — Рафаэла Борисовича — газета "Век" № 13, 1995 г.).

За успешное завершение первого этапа работ по созданию отечественной атомной промышленности в кратчайшие сроки, завершившегося испытанием первой атомной бомбы (РДС-1), при рассмотрении предложений по награждению участников работ Сталин предложил присвоить почётные звания Героя Соц. Труда Ванникову Б.Л. и Музрукову Б.Г. — директору комбината "Маяк", наработавшему плутоний и изготовившему первый заряд из плутония. Сталину аккуратно напомнили, что в Положении о Героях Соц. Труда оговаривается, что это звание может присваиваться только однажды. На это Сталин коротко ответил: "Положение писали люди, они его и исправят". И вписал Ванникова Б.Л. и Музрукова Б.Г. первыми на присвоение звания "Дважды Героя Соц. Труда".

Борис Глебович Музруков пришёл в атомную промышленность в 1947 г. с поста директора крупнейшего завода отечественного машиностроения — Уралмаша (г. Свердловск).

В ноябре 47 г. он был назначен директором строящегося комбината "Маяк" (и города), сменив на этом посту Славского Е.П. Борис Глебович приехал на комбинат один, как в то время говорили, "без хвоста", т.е. он не привёз с прежнего места работы ни Главного инженера, ни Главного бухгалтера, ни начальников других служб, на которых он мог бы опереться на новой работе. А это говорило об уверенности в своей силе нового директора.

На комбинате "Маяк" Музруков в тяжелейших условиях за какие-то 2 года пустил в эксплуатацию ядерный реактор по наработке плутония, радиохимический завод, завод по изготовлению деталей из металлического плутония и многие другие производства, обеспечивающие работу основных предприятий и города.

Уже к середине 49 г. была изготовлена первая деталь из плутония для заряда бомбы. Имеется несколько версий, как происходила приемка этой детали.

По воспоминаниям Александрова А.П., посмотреть первую деталь приезжали на комбинат генералы из Москвы. Борис Глебович в присутствии Курчатова И.В., Александрова А.П., Харитона Ю.Б. и Бочвара А.А. показывал деталь генералам.

Собравшиеся вокруг стола генералы какое-то время молча смотрели на деталь, видимо стараясь представить — сколько труда учёных, инженеров, рабочих, какие усилия заключённых, какие огромные материальные и денежные средства были вложены прежде, чем получить первый небольшой кусок "неземного" материала — плутония. И словно продолжая свои мысли, один из генералов (Александров не запомнил — кто именно), спросил: "А как проверить, что это именно плутоний?". На этот вопрос Борис Глебович предложил взять деталь в руки и убедиться, что деталь горячая, а если её

взять в руки, особенно заметен её саморазогрев. Генералы с удовольствием проделали этот эксперимент.

На наше предприятие Борис Глебович приехал в июне 55 г. Он быстро вошёл в курс работ, нашёл правильный контакт с большим и сложным по составу коллективом учёных, инженеров и производственников.

В тот период структура института в основном уже сформировалась. Имелся большой тематический задел, ясность перспективы. Понимание большой значимости выполняемой работы определяло энтузиазм сотрудников института. Поэтому чрезвычайно велика была роль руководителя института, от действий которого зависело раскрытие творческих возможностей научных работников и производственников, слитность работы многих творческих коллективов.

В этих условиях Борис Глебович весьма умело пользовался данной ему властью.

В военное время на посту директора Уралмаш-завода, а затем и на посту директора комбината "Маяк", он часто пользовался командными методами руководства, беря всю ответственность на себя, зачастую не согласовывая свои действия с партийными органами, что вызывало раздражение их руководителей. (По воспоминаниям первого начальника политотдела комбината "Маяк", с кем мне довелось беседовать).

Работая директором института, он больше использовал методы убеждения, что было более эффективно в научном коллективе. В этом плане мне запомнился случай, когда Борис Глебович объяснял мне, насколько важно предварительно готовить коллектив к выпускаемым приказам и распоряжениям руководителя. На конкретных примерах он показал, что исполнение приказов бывает очень затруднительным, если люди внутренне не подготовлены к их принятию. А это приводит к длительным последующим разбирательствам с потерей руководителем ценного времени.

Борис Глебович был требовательным и строгим руководителем, в официальных условиях "держал дистанцию" со всеми сотрудниками (от ближайших своих помощников до рабочего). Вместе с тем, при всей своей строгости, он был чутким и справедливым человеком. Он ценил хороших специалистов, инициативных и добросовестных людей и нетерпимо относился к нерадивым работникам и очковтирателям.

За 19 лет работы в институте Борис Глебович сделал много в обеспечении эффективной работы института и по благоустройству города. При его непосредственном участии создавались конструкции зарядов с высокими удельными характеристиками. Он постоянно бывал в научных коллективах и на производстве, оперативно решая возникающие проблемы.

В коротком докладе я ставил перед собой задачу привести только отдельные факты из богатой событиями жизни Ванникова Б.Л. и Музрукова Б.Г. — первых в стране "Дважды Героев Социалистического Труда", нисколько не умаляя неоценимый вклад других создателей отечественной атомной промышленности в это грандиозное дело.

АКАДЕМИК ИСААК КОНСТАНТИНОВИЧ КИКОИН — НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОБЛЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА В СССР (1908—1984)

А.Г. Плоткина, Е.М. Воинов

В последние годы, наконец, приоткрыта завеса секретности над историей Атомного Проекта в нашей стране. Появилось много публикаций, рассказывающих о его создателях, учёных-атомщиках, академиках: И.В. Курчатове, Ю.Б. Харитоне, А.Д. Сахарове и многих других.

Среди этой блестящей когорты только изредка встречается фамилия академика И.К. Кикоина, возглавлявшего направление по созданию расщепляющегося материала, необходимого для изготовления урановой бомбы.

Кроме выпущенного в 1991 году в редакции "Наука" сборника: "Воспоминания об академике И.К. Кикоине" тиражом всего 1550 экземпляров, составителем которого является один из авторов настоящей статьи, до сих пор о деятельности Кикоина в Атомной проблеме практически ничего не опубликовано. В этом сборнике, ставшем к настоящему времени библиографической редкостью, роль И.К. Кикоина освещена недостаточно полно, т.к. в 1991 году ещё далеко не все материалы были рассекречены.

Как это ни странно, но по имеющимся у нас сведениям, на состоявшемся в 1995 году на предприятии "Свердловск-44" 45-летнем юбилее со дня пуска первого диффузионного завода Д-1 никто из выступавших, начиная с директора предприятия, не вспомнил о роли академика И.К. Кикоина и его сотрудников, возглавлявших все работы по созданию и пуску этого завода в 1948-1950 гг.

В настоящей статье, имея в своём распоряжении некоторые рассекреченные материалы и базируясь на собственных воспоминаниях и воспоминаниях ныне здравствующих сотрудников И.К. Кикоина, мы сочли своим

долгом частично восполнить этот пробел и осветить его деятельность в Атомном проекте, по возможности, более полно.

Исаак Константинович Кикоин родился 28 марта 1908 года в небольшом провинциальном городе Жагары близ г. Вильно в семье школьного народного учителя математики Константина Исааковича Кикоина. В возрасте 15 лет он окончил школу в г. Пскове. После этого он два года работал землемером и в 1925 году поступил на физико-механический факультет Ленинградского Политехнического Института, по окончании которого в 1930 году начал работать в Ленинградском физико-техническом институте под руководством А.Ф. Иоффе, одновременно преподавая в ЛПИ.

Одной из первых работ И.К. Кикоина было исследование эффекта Холла в жидких металлах. Затем он исследует изменение сопротивления жидких металлов в магнитном поле, открывает (вместе с М.М. Носковым) фотомагнитный эффект. В 1935 году защищает докторскую диссертацию.

В 1935 году И.К. Кикоин переезжает в г. Свердловск, где начинает работу во вновь организованном физическом центре — Уральском физико-техническом институте (УФТИ), где возглавляет лабораторию электрических явлений, одновременно, будучи профессором, заведует кафедрой общей физики в УПИ.

В конце 1942 года в УФТИ приезжает И.В. Курчатов, которого И.К. Кикоин хорошо знал по совместной работе у А.Ф. Иоффе. Об этой встрече И.К. Кикоин вспоминает: "Игорь Васильевич почему-то заинтересовался тематикой моей лаборатории. Но вскоре всё прояснилось. Через два месяца, в начале 1943 года, я был вызван в Москву к С.В. Кафтанову, возглавлявшему тогда ВКВШ (Всесоюзный Комитет высшей школы), где мне и А.И. Алиханову было предложено принять участие в Атомном проекте вместе с уже привлечённым к этому делу И.В. Курчатовым... Так началась напряжённая эпопея решения практической задачи создания атомного оружия... Довольно быстро было произведено разделение "сфер влияния": Игорь Васильевич взял на себя ядерный аспект проблемы, а я занялся решением задачи о разделении изотопов урана, т.е. получением расщепляющегося материала, необходимого для создания урановой бомбы... После многих расчётов мы остановились на диффузионном методе разделения изотопов урана".

По-видимому, выбор этого метода разделения из всех возможных (термодиффузия, центрифугирование, электромагнитный метод и др.) инициировался и тем, что данные разведки, которыми располагало наше Правительство, сообщали, что в качестве основного метода в США принят на "вооружение" именно диффузионный метод. Это подтверждается и письмом И.К. Кикоина, направленным зам. Председателя Совнаркома М.Г. Первухину в конце 1943 года, выдержку из которого мы приводим. "...Изучение проблемы разделения изотопов урана, которой мы занимались в течение истёкших 10 месяцев, по предоставленным нам материалам и самостоятельно, привело нас к заключению, что проблема технически вполне разрешима...".

Каких-либо разговоров на эту тему И.К. Кикоин с нами, начавшими с ним работать с 1944 года, не вёл, да и вряд ли, по соображениям секретности, мог вести. Остаётся только предполагать (с большой степенью достоверности), что каких-либо конкретных, практических данных в этих материалах не было. Иначе трудно себе представить, чтобы эти данные не были сообщены (в соответствующем виде) исполнителям, которые начинали буквально с нуля по всем вопросам.

Диффузионный метод разделения изотопов основывается на давно известном явлении: если через малое отверстие в перегородке пропускать смесь газов, то оказывается, что более лёгкие молекулы проходят через неё быстрее, чем тяжёлые. В результате газ обогащается лёгкой компонентой. Но при этом должны быть выполнены следующие условия: отверстие должно быть настолько мало, чтобы оно было меньше длины свободного пробега молекул, и необходимо, чтобы газ, прошедший через отверстие, тотчас же откачивался, т.е. чтобы молекулы не просачивались обратно.

И.К. Кикоин вспоминает: "Первые расчёты по диффузионному методу проводил я сам, и мне стало ясно, что надо научиться делать перепад давлений между входом в перегородку (фильтр) и выходом из неё, т.е. нужны компрессоры, основная работа которых пойдёт на сжатие газа. Оказалось, что процесс нужно повторять, чтобы получить 90% — концентрацию U-235, несколько тысяч раз, т.е. нужно иметь несколько тысяч разделительных элементов (ступеней). В связи со сложностью теории было решено привлечь к этой работе одного из крупнейших математиков Союза — академика С.Л. Соболева, а также молодого физика, ученика Л.Д. Ландау — Я.А. Смородинского. Нам также стало ясно, что проблема не может быть решена без привлечения инженерно-технических сил, т.к. нужно иметь хорошие компрессоры, разработать системы регулирования и решить много других инженерных вопросов... Работая в начале войны в Свердловске, я познакомился с эвакуированным сюда из блокадного Ленинграда Иваном Николаевичем Вознесенским. Это был крупный учёный, инженер-практик, известный как создатель мощного гидротурбостроения и видный специалист в области регулирования".

В приведённом уже выше письме М.Г. Первухину по этому поводу Кикоин пишет: "...дальнейшая работа должна быть организована следующим образом: необходимо, чтобы в группу руководителей диффузионного метода, кроме физиков и математиков, был включён инженер-практик — руководитель всего проектирования... Наиболее подходящей, нам кажется, явилась бы кандидатура известного в стране члена-корреспондента И.Н. Вознесенского" и далее: "нам представляется, что через некоторое время руководящая роль перейдёт к инженеру, а роль остальных станет консультативной".

В итоге И.Н. Вознесенский был привлечён к атомной проблеме. Мы считаем, что в вопросе подбора своих помощников И.К. Кикоин проявил

поразительную дальновидность и тем самым в значительной мере обеспечил успех в решении проблемы диффузионного разделения изотопов урана.

И.Н. Вознесенский хорошо знал промышленность Ленинграда и предложил ориентироваться, прежде всего, на Ленинград. В результате 15 марта 1944 годы был организован филиал Лаборатории № 2 АН СССР во главе с И.К. Кикоиным, заместителем которого стал И.Н. Вознесенский.

Ленфилиал Лаборатории № 2, сотрудниками которого мы стали в середине 1944 года, расположился в здании бывшего Института химической физики. Мы, группа Вознесенского, начали заниматься работами, связанными с созданием компрессоров, газодинамическими расчётами, вопросами устойчивости и регулирования (совместно с С.Л. Соболевым). Все эти работы, в необходимой мере, проводились при постоянной помощи И.К. Кикоина.

Однако, вскоре (начало 1945 года) Правительство решило все работы, в том числе и связанные с диффузионным методом, сосредоточить в Москве. По времени это совпало с назначением Л.П. Берии административным руководителем всей Атомной проблемы. Как мы помним, И.К. Кикоин воспринял это без особого удовольствия. Оставшаяся в Ленинграде группа И.Н. Вознесенского вошла в сектор 2 (так тогда именовался московский коллектив И.К. Кикоина). И.К. Кикоин регулярно приезжал в Ленинград, курируя все физические аспекты работы.

И.К. Кикоин и И.Н. Вознесенский являлись заместителями И.В. Курчатова.

Вся Лаборатория № 2 расположилась на территории бывшего Института экспериментальной медицины в районе Покровское-Стрешнево.

И.К. Кикоин вспоминает, как обустраивалось предоставленное ему здание: "Это здание в течение нескольких месяцев было полностью переоборудовано. В помещение мастерских было завезено лучшее по тому времени оборудование, как отечественное, так и полученное из США по Ленд-лизу. К цеху пристроили большой экспериментальный зал. Нам выделили группу высококвалифицированных рабочих с разных заводов, в частности, с авиационных. Лабораторные помещения были оснащены трофейным оборудованием из германского Кайзер-института, отобранным сотрудником И.К. Кикоина — Д.Л. Симоненко".

Научный состав сектора 2 в конце 1945 года состоял из трёх лабораторий и теоретической группы (во главе с С.Л. Соболевым) в количестве 25 человек, инженерный коллектив состоял из 19 человек. В мастерских работало 50 человек. Таким образом, в Москве под руководством И.К. Кикоина образовался сильный работоспособный коллектив.

К этому времени И.К. Кикоин, С.Л. Соболев и И.Н. Вознесенский сформулировали основные проблемы, которые нужно было решить в первую очередь для овладения диффузионным методом разделения изотопов урана:

1. Получение рабочего газа и исследование его физико-химических свойств.

2. Изготовление и исследование разделительных элементов-фильтров.
3. Разработка компрессора и связанного с ним оборудования.
4. Расчёты каскадов, их устойчивости и систем регулирования.
5. Создание приборов технологического контроля.
6. Проектирование промышленных каскадов.

К решению этих основных задач, кроме коллективов И.К. Кикоина и И.Н. Вознесенского, было привлечено много организаций и предприятий. Общее научное руководство всеми этими работами было поручено Правительством И.К. Кикоину. Кратко остановимся на том, как решались эти задачи.

В качестве рабочего газа был принят гексафторид урана (UF_6), полученный ещё в 1912 году немецким учёным Руффом. Первая небольшая порция газа в количестве 100 г была, по просьбе И.К. Кикоина, синтезирована в конце 1943 года в Радиевом институте, возглавляемом академиком В.Г. Хлопиным.

И.К. Кикоин, ещё находясь в Свердловске, в 1943 году с помощью своей группы сотрудников определил основные физические константы UF_6: зависимость упругости пара от давления, теплоёмкость, вязкость и скорость звука. Далее, для получения ощутимых количеств газа (килограммы) был привлечён завод "Рулон" Горьковской области. Позднее промышленное производство (по решению Правительства) было организовано в г. Кирово-Чепецке (Кировская область).

Работа по созданию фильтров началась в секторе 2 в конце 1945 г. Первые, очень примитивные фильтры, пригодные только для модельных исследований, изготавливались из тонкой медной фольги, прокалываемой пучком игл. Размер отверстий был значительно большим, чем требовалось для промышленного использования. Эту работу выполнил И.Н. Поляков — отличный механик-умелец, которого привёз И.К. Кикоин из Свердловска.

Логичным был путь получения фильтров с помощью порошковой металлургии. По инициативе И.К. Кикоина, к решению этой очень важной проблемы был привлечён ряд организаций: Московский Комбинат твёрдых сплавов, завод "Электросталь", Сухумский институт. Был объявлен конкурс на фильтры по техническому заданию, составленному сектором 2, по которому размер пор должен быть не более 0,001 мкм, должна была быть обеспечена однородность и устойчивость в атмосфере гексафторида урана. В результате конкурса были приняты фильтры Комбината твёрдых сплавов в виде пластин размером 120/70 мм. Эти фильтры были использованы на первом диффузионном заводе Д-1 (Свердловск-44). Давление на входе в эти фильтры, из-за их невысокого качества, не могло превышать 20 мм рт. ст., что ограничивало производительность разделительных ступеней. Требовалось разработать фильтры на более высокое давление. Такие фильтры были разработаны проф. Тиссеном и его сотрудниками (Сухумский институт) уже не в виде пластин, а в виде трубок диаметром 15 мм с расположенными в них турбулизаторами, способствовавшими лучшему перемешиванию. Эти

фильтры позволили повысить давление на входе в них до 100 мм рт. ст.[1] Но на этом не закончилось совершенствование фильтров.

Совершенствование трубчатых фильтров проводилось "широким фронтом". В начале 50х годов один из ведущих сотрудников И.К. Кикоина — В.Х. Волков приступил к созданию двухслойных фильтров (на основной слой наносился дополнительный слой, улучшающий его характеристики).

К этой работе вскоре подключились сотрудники предприятия Свердловск-44. В результате совместных работ были получены фильтры, позволившие поднять давление до 200 мм рт. ст. При этом существенно повысилась и их разделительная способность.

Здесь уместно отметить, что длительное время, по настоянию И.К. Кикоина, проводился строгий контроль над качеством фильтров, изготавливаемых заводами, для которого определённое количество изделий из каждой партии подвергалось тщательной проверке в подразделении И.К. Кикоина, и только после этого партия поступала на строящиеся заводы.

Серьёзной и сложной явилась задача борьбы с коррозией материалов, применяемых в оборудовании. Эти работы были начаты в секторе 2 ещё в 1946 году. Их возглавлял И.В. Савельев со своей группой. Были получены некоторые весьма полезные результаты, в частности, о стойкости никеля в среде UF_6, но в дальнейшем оказалось, что эти работы требовали большего размаха. Нельзя, правда, отрицать того, что они велись в условиях невероятной "гонки" (подробно об этом будет рассказано ниже).

Одной из важных проблем явилось создание прецизионных, быстродействующих приборов для анализа обогащения основного продукта непосредственно на работающем оборудовании. Разносторонние знания и опыт И.К. Кикоина в различных областях физики позволили развернуть работы широким фронтом: были апробированы различные способы, и в результате напряжённой работы многих ведущих сотрудников (Д.И. Воскобойник, В.Х. Волков, Ю.И. Щербина, Л.Л. Горелик и др.) были разработаны приборы трёх типов: электрометрический, масс-спектрометрический и гамма-спектрометрический. Основным методом был принят гамма-спектрометрический.

Наряду с указанными проблемами в секторе 2 приходилось решать и многие другие задачи, в основном инженерные, но И.К. Кикоин и в этих вопросах помогал находить лучшие решения. Без преувеличения можно сказать, что он был не только превосходным физиком, но и хорошим инженером.

---

[1] Мы не исключаем, что появлению этих фильтров способствовали полученные нашей разведкой сведения. Основанием к такому заявлению служит тот факт, что эти фильтры появились у нас совершенно неожиданно, а в отделе И.К. работы в этом направлении не проводились. Косвенным подтверждением этого может служить и произнесённая И.Н. Вознесенским в 1946 г. фраза: "У американцев, по-видимому, используются трубчатые фильтры длиной не менее одного метра".

Приходилось только поражаться, как он держал в своём сознании малейшие детали того или иного вопроса, искал пути усовершенствования всех элементов технологического процесса, был первым при анализе любых, даже небольших неудач. Он регулярно бывал во всех лабораториях, анализировал вместе со своими помощниками текущие результаты, часто предлагал новые оригинальные решения. В этом сказалась "школа", через которую он прошёл в молодости в институте А.Ф. Иоффе.

Как уже было упомянуто, Ленинградская группа занималась одной из главных проблем — созданием оборудования, и в первую очередь компрессоров. Параметры для первого компрессора были выданы И.К. Кикоиным и С.Л. Соболевым. 17 июня 1945 года в Москве состоялось совещание по вопросу изготовления первого экспериментального компрессора. Совещание проводил И.К. Кикоин. И.Н. Вознесенский представил рабочие чертежи этого компрессора. На совещании было принято решение о срочном его изготовлении. Изготовлен он был на Горьковском заводе (директором там был А.С. Елян) в предельно короткий срок — менее чем месячный, и доставлен в Москву, где уже к тому времени силами мастерских отдела И.К. Кикоина был изготовлен испытательный стенд.

В пуске и испытаниях компрессора принимали непосредственное участие И.К. Кикоин и И.Н. Вознесенский. Результаты показали, что компрессор даёт расчётные параметры, и самое главное, была показана возможность использования сверхзвуковых скоростей в компрессоре, что существенно облегчало задачу создания промышленных машин. Испытания были проведены в канун ноябрьского праздника в 1945 году, о чём И.К. Кикоин сразу сообщил в Правительство.

К работе по созданию промышленных компрессоров по инициативе И.К. Кикоина и И.Н. Вознесенского были привлечены два завода: ленинградский Кировский и Горьковский (упомянутый выше), по образному выражению И.К. Кикоина: "два крупных завода на крупных реках: один на Волге, другой на Неве".

В августе 1946 года этим заводам было выдано техническое задание на проектирование всей ступени, включающей, кроме компрессора, делитель (устройство, содержащее фильтры), коммуникации и др.

В задании требовалось, чтобы каждый завод изготовил по 20 ступеней и произвёл их монтаж в отделе И.К. Кикоина не позднее 15 ноября 1946 г. Правительственный срок проведения всех испытаний был определён — 5 февраля 1947 года. В процессе испытаний впервые созданных машин, естественно, возникали большие трудности, и уложиться в назначенный срок не удалось. 3 февраля И.К. Кикоин направляет Л.П. Берии письмо: "...Довожу до Вашего сведения, что начатые нами испытания опытного диффузионного каскада показали наличие некоторых заводских дефектов и для пуска каскада на рабочем газе требуется ещё 12 дней. В связи с этим обращаюсь к Вам с просьбой отложить срок представления нами данных

о работе каскада на 12 дней против указанного Правительственного срока — 5 февраля". Даже из этого письма видно, как трудно было И.К. Кикоину работать под "покровительством" Берии, доходившего до угроз "сушить сухари". Кстати, ежедневной отчётностью И.К. Кикоина это "покровительство" не ограничивалось. В течение 5 лет работы над Атомным проектом к И.К. Кикоину были приставлены круглосуточно "секретари", которые не только охраняли его, но и, по-видимому, докладывали в аппарат Л.П. Берии о каждом его шаге.

В результате непрерывной круглосуточной работы оба каскада удалось запустить только 23 февраля. И.К. Кикоин работал наравне со всеми. В очередном рапорте Берии он писал: "Опасение относительно значительной коррозии компрессоров и фильтров в атмосфере столь агрессивного газа несправедливо... Таким образом, диффузионный метод разделения изотопов можно считать проверенным на промышленных образцах машин... считаю целесообразным приступить к серийному выпуску машин на Горьковском заводе и к форсированию строительства первого промышленного завода "Д-1". К сожалению, этот вывод оказался преждевременным, и тому виной, конечно, была страшная спешка, вызванная давлением Берии. Но дело было сделано, и изменить ничего уже было нельзя.

Ещё в начале 1946 года И.К. Кикоин выехал вместе с назначенным уже директором будущего завода Д-1 А.И. Чуриным в район города Свердловска для выбора строительной площадки. Он хорошо знал окрестности Свердловска и выбрал площадку в районе Верх-Нейвинска, где поблизости находились энергетическая система и водоёмы для систем охлаждения компрессоров.

Уже к началу 1947 года на этой площадке было построено несколько корпусов со всем вспомогательным оборудованием (строили, конечно, заключённые) и начали поступать первые машины Горьковского завода. Им было присвоено наименование ЛБ-7 (в честь Лаврентия Берия).

В это же время руководящий инженерный персонал будущего завода проходил интенсивную учёбу в Москве в секторе И.К. Кикоина и в Ленфилиале. Позднее И.К. Кикоин организовал учёбу и на месте — на самом заводе. Там с лекциями выступили С.Л. Соболев и другие сотрудники И.К. Кикоина.

К маю 1948 года на заводе Д-1 была подготовлена к пуску первая очередь завода, состоявшая из машин ЛБ-7.

22 мая было принято постановление Совмина СССР, разрешающее предъявить первую очередь к пуску. И.К. Кикоин был назначен заместителем директора завода по научным вопросам.

23 мая вместе с И.К. Кикоиным выехали на площадку ведущие сотрудники Отдела Д (так тогда стал называться сектор 2) и ленинградской группы.

Пуск завода производился очередями, по мере готовности оборудования. Проходил он чрезвычайно трудно. Нарушалась герметичность каскада, выходили из строя подшипники компрессоров, а главное, — совершенно

неожиданно оказалось, что UF_6 сильно разлагался внутри каскада. В итоге поток высокообогащённого газа практически не доходил до конечных ступеней каскада, осаждаясь в виде твёрдого тетрафторида урана на внутренних стенках машин. Безусловно, если бы не было спешки, то это можно было обнаружить ещё в Москве при испытаниях опытных каскадов.

С первыми двумя неприятностями справились легко. Необходимо было принимать срочные меры для снижения потерь. С этой целью провели общую пассивацию внутренних поверхностей каскада нагретой смесью фтора с воздухом. Завод заработал, но выдавал продукт с обогащением всего 40%. Тогда И.В. Курчатов, по просьбе И.К. Кикоина, поручил этот продукт доводить до бомбовой концентрации (больше 90%) Л.А. Арцимовичу на электромагнитной установке.

Разборка машин на заводе Д-1 и в Москве (там были разобраны машины 20-ступенчатого каскада) показала, что основные отложения находились на статорном железе двигателей. Решено было заменить все двигатели (а их было несколько тысяч), а до этого удлинить каскадную цепочку, установив в её отборной части малогабаритные машины с герметичными двигателями (по предложению Кировского завода).

Но эти машины ещё требовалось спроектировать и изготовить в количестве около 1500 штук (они именовались ЛБ-6).

Это было осуществлено только в июне 1949 года, и в результате двухэтапной работы каскада, в ноябре 1949 года удалось получить продукт с обогащением 75%, при этом дообогащение на электромагнитной установке продолжалось.

Только в 1950 году, т.е. на год позже намеченного срока, после замены всех двигателей на двигатели с рубашкой, отделяющей статор от ротора, завод Д-1 вышел на расчётную мощность (90%- обогащение при заданной величине отбираемого продукта).

Таким образом, диффузионная технология урана в промышленном масштабе была освоена. Был открыт путь к созданию более мощных диффузионных заводов.

Напряжённая многолетняя работа сильно подорвала здоровье И.К. Кикоина — кроме туберкулёза лёгких, у него открылась язва желудка.

В 1951 году И.К. Кикоин и большая группа его сотрудников были награждены Сталинскими премиями и орденами. И.К. Кикоину было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Также были награждены многие сотрудники завода Д-1, Горьковского и Кировского завода, проектировщики (ГСПИ-11) и руководители Первого Главного Управления при Совмине СССР, курировавшие всю проблему.

Заметим, что площадка, на которой располагался завод Д-1 (одно из наименований которого было комбинат 813) и поныне считается головным предприятием отрасли. На комбинате был создан научный отдел, которым непосредственно руководил И.К. Кикоин.

Бывший сотрудник этого отдела, ныне академик Ю.М. Каган вспоминает: "...Каждый приезд И.К. Кикоина на комбинат будоражил сотрудников. Все старались как можно скорее заполучить его в свою лабораторию... Надо было "пропустить" через Исаака Константиновича законченные работы... Он читал наши работы весьма скрупулёзно... Часто чтение работы превращалось в подробный критический анализ, который по сути был полезен авторам... В каждый приезд на его плечи ложился очень большой объём работы. Можно только поражаться, как он всё успевал. Ежедневно он работал по 11-12 часов".

За первым диффузионным заводом Д-1 вскоре последовали новые, более мощные — Д-3, Д-4, Д-5. В конце 1955 года завод Д-1 был демонтирован ввиду его неэкономичности и малой мощности. (А может быть, хотя бы часть надо было оставить как историческую ценность?)

В пятидесятые годы были освоены новые площадки: в Томске, Ангарске, Красноярске, была создана мощная газодиффузионная промышленность, полностью удовлетворявшая потребности страны в обогащённом уране.

Исаак Константинович был научным руководителем всех этих предприятий, под его неусыпным вниманием шло непрерывное совершенствование оборудования предприятий.

В связи с этим академик А.П. Александров вспоминает: "...Энергичный и талантливый, И.К. Кикоин сумел сплотить коллектив учёных и инженеров, решивший за короткий срок (5 лет) сложнейшие проблемы по созданию атомной техники, на которые, по тогдашним оценкам специалистов США, "Советам" должно потребоваться не менее 20 лет".

Однако И.К. Кикоин на этом не остановился. Когда основная тяжесть в создании диффузионного метода свалилась с его плеч, перед ним встала задача освоения энергетически более выгодного центрифугального метода разделения изотопов. Первые разработки этого метода относятся к началу 50-х годов. Ими занимался немецкий профессор М. Штеенбек в Сухумском институте. Появились обнадёживающие результаты. В связи с этим было принято решение о переводе Штеенбека с его группой в Ленинград на ЛКЗ. Центрифуга, разрабатываемая Штеенбеком, имела гибкий ротор длиной около трёх метров, состоявший из нескольких частей, соединённых гибкими связями — сильфонами. На нижнем конце ротора была расположена игла, опирающаяся на победитовый подшипник. В верхней части располагалась магнитная опора, воспринимавшая вес ротора и удерживавшая его от радиальных смещений. Но создать работоспособную машину с гибким ротором не удалось.

В 1951 году в эту проблему включился талантливый научный сотрудник отдела И.К. Кикоина — Е.М. Каменев. Он предложил отказаться от длинного гибкого ротора и перейти к жёсткому ротору (собственная частота которого выше частоты вращения). Такая машина с длиной ротора 500 мм, вращающегося на игле и удерживаемого магнитной подвеской (все как у

М. Штеенбека), была разработана и изготовлена в мастерских Отдела и оказалась работоспособной. Разработка промышленных машин такого типа была осуществлена на ЛКЗ.

Здесь следует отметить, что И.К. Кикоин вначале очень недоверчиво относился как к разработкам как Штеенбека, так и Каменева.

Это можно понять, И.К. Кикоину, затратившему столько сил на диффузионный метод, который исключительно надёжно работал, естественно, было трудно преодолеть психологический барьер. Но, как истинный учёный, он включился активным образом в разработку новой техники, внеся большой вклад, в частности, в очень важный элемент, — передачу разделяемого продукта по газовой фазе (у Штеенбека применялись конденсация и испарение).

Газовым центрифугам была открыта широкая дорога, и они стали быстро заменять диффузионные машины. К 1991 году диффузионный метод прекратил существование.

В 1952-62 гг. И.К. Кикоин. стал инициатором применения центрифугального метода к разделению стабильных изотопов. В руководстве Министерства это считалось "хобби" академика. Однако, по мере развития этого направления, оно позволило получать изотопы многих элементов и снабжать ими не только наших учёных, медиков, но и продавать, достаточно выгодно, за границу.

С использованием некоторых элементов газовой центрифуги была создана биологическая центрифуга. История её такова. К И.К. Кикоину обратились биологи и медики с просьбой создать такую центрифугу, т.к. используемые ими центрифуги закупались в Швеции по очень высокой цене. Центрифуга, не уступающая импортной, была создана при непосредственном участии И.К. Кикоина и удостоена Сталинской премии.

В Отделе Кикоина проводились также, и по настоящее время проводятся, работы по лазерному и плазменному методам разделения изотопов.

И.К. Кикоин считал, что развитие фундаментальных наук всегда обеспечивает прогресс в прикладных науках. Он всячески поддерживал работы теоретиков, даже если они вели работы, не связанные с основной тематикой, да и экспериментаторам он предоставлял большую свободу.

И.К. Кикоин был "всеяден"! Он успевал редактировать созданный им физический журнал "Квант", руководить физическими Олимпиадами, написать (вместе с братом) высокого класса учебник по молекулярной физике для высшей школы, учебники для средней школы.

Немного остановимся на чисто человеческих качествах И.К. Кикоина. Прежде всего о стиле его работы:

На работу он являлся всегда ровно в 9 часов утра и сразу направлялся в главный экспериментальный зал (т.н. "Корпус"). Он знакомился с результатами работ, активно их обсуждал, намечал новые эксперименты. Здесь он проводил 2-2,5 часа. Затем он направлялся, как правило, в окружении

сотрудников, в свой кабинет, где обычно его уже ожидали или другие сотрудники Отдела, или приглашённые лица. Этот порядок нарушался только в том случае, когда он после посещения "Корпуса" заходил в цех. Там он интересовался ходом изготовления экспериментальных установок или изделий, беседовал с рабочими. Своим цехом И.К. Кикоин всегда гордился, высоко ценил его.

И.К. Кикоин был абсолютно доступен для всех сотрудников, в общении был прост, любил шутки и никогда не обижался, если они касались и его. Был нетребователен к условиям жизни.

У него была потрясающая, энциклопедическая память, он великолепно знал историю, особенно древнюю, талмуд (он был религиозен), хорошо знал литературу. Он был очень музыкален, в узком кругу любил петь. И.К. Кикоин не переносил бездельников и старался от них при первой возможности избавляться. Долго не прощал допущенные кем-то ошибки. Вместе с тем был очень отзывчив, охотно помогал своим сотрудникам независимо от ранга.

Многолетняя, напряжённая работа вконец подорвала его здоровье. Стало сдавать сердце (в последние годы он жил с водителем пульса сердца).

28 декабря 1984 года его не стало...

Но дела, начатые им, продолжаются по сей день, несмотря на переживаемые страной трудности.

Ежегодно 28 марта — в день его рождения — его учениками проводятся "Кикоинские чтения", на которых крупные учёные представляют научные доклады.

"ТРУБА", ПОЧЕМУ ОНА НЕ ПРОШЛА. ТЯЖЕЛОВОДНЫЕ РЕАКТОРЫ В ИТЭФ.

Б.Л. Иоффе

Уходит время, и все меньше остается участников героического периода развития физики 40-х и 50-х годов — периода решения атомной проблемы и становления физики в нашей стране после вынужденного, связанного с войной, перерыва. Хотя я никак не могу относить себя к главным участникам тех событий, я знаю кое-что из истории атомной проблемы, которая не раскрыта полностью до сих пор; я знал главных действующих лиц и видел их в деле.

Когда человек выступает с воспоминаниями о великих людях в науке, с которыми ему приходилось встречаться, как правило, такие воспоминания носят характер — "Я и великий человек". То же относится и к великим событиям, они звучат как: "Моя роль в великом событии". Обычно это вызывает улыбку у читателя или слушателя. Хотя я ясно понимаю такую опасность, я не всегда буду стараться избежать ее. Конечно, живой свидетель событий, если он по настоящему участвовал в них, всегда в какой-то степени необъективен. В этом слабость его, — но и сила. Объективным может быть лишь далекий историк, но у него уже не будет живого чувства реальности происходящего. Здесь уместно сравнение с квантовой механикой. Прибор может влиять на наблюдаемое явление. Уберите его — явление изменится, вы получите явление "в чистом виде", но будете иметь мало информации о нем.

В нашей стране, по крайней мере, после революции, наука всегда была тесно связана с политикой. Но особенно тесной (как тогда говорили, "неразрывной") она была в послевоенное время и еще более тесной в физике, поскольку физика была нацелена на решение основной задачи государства в то время — создание атомной (и водородной) бомбы. Это не преувеличение: основной задачей государства (под государством я имею в

виду, конечно, правящую верхушку) в конце 40-х и начале 50-х годов было не послевоенное восстановление, не развитие промышленности и сельского хозяйства, даже не усиление обычных вооруженных сил — они и так были достаточно сильны — это было создание атомного оружия (и, может быть, ракет). Поэтому изложение истории развития атомной проблемы нужно начать с изложения политической ситуации, какой она была в конце 40-х — начале 50-х годов. Связь атомной проблемы с политикой, о которой будет идти речь, и то понимание ситуации, которое будет изложено ниже, это, конечно, моя личная точка зрения, но я убежден в ее правильности. Частично это понимание было у меня уже в то время, но окончательно оно сложилось в 1953-56 гг. Сейчас многое из того, о чем тогда приходилось догадываться, подтверждено, но, вместе с тем, законченная историческая картина того времени пока отсутствует.

Я уверен, что всеподавляющей целью Сталина был захват мирового господства или, как минимум, как первый шаг на пути к этой цели — захват Европы и ряда территорий в Азии (Турция, Корея, выход к южным морям — вспомните коммунистические армии и захваченные ими районы в Греции, Индокитае, Малайе, на Филиппинах и др.). Нападение на Южную Корею было первой серьезной пробой сил. С самого начала военных действий я понимал, что это агрессия Северной Кореи, направленная и организованная Сталиным, и что заявления советской пропаганды, будто война была начата или спровоцирована Южной Кореей, есть чистейшая ложь. Я понимал также, что это сталинская разведка боем: если бы Запад и, в первую очередь, США не дали бы отпора, такие акции повторились бы в разных местах[1]. Я считаю, что в начале 50-х годов Сталин был намерен развязать и выиграть 3-ю мировую войну. Времени у Сталина было немного — в 1949 г. ему исполнилось 70 лет — и действовать нужно было быстро.

Недавно появилось важное подтверждение такой точки зрения. В Чехии издана книга воспоминаний генерала Чепички. Чепичка был министром обороны Чехословакии в коммунистическом правительстве Готвальда в

---

[1] В связи с войной в Корее имел место любопытный эпизод. У Л.А. Арцимовича, известного физика, было пристрастие — анализировать военные операции. Он считал себя хорошим стратегом и, вероятно, действительно являлся таковым. И вот, когда северокорейские войска прижали к морю в районе Пусана американцев и остатки южнокорейской армии, а США готовили подкрепления, Лев Андреевич, анализируя ситуацию, пришел к выводу, что морской десант американцев со стороны Желтого моря в середине Корейского полуострова (а у США было подавляющее превосходство на море и в воздухе) был бы смертельным ударом для северокорейской армии: ее коммуникации были бы перерезаны и поражение было бы неминуемо. Он сказал об этом нескольким своим знакомым. Через короткое время это высказывание стало известно Берии. Тот вызвал Арцимовича и сказал ему: — "Ты что болтаешь? Ты знаешь, *кто* операцию планирует? Молчи, а не то тебэ плохо будэт!"

Через несколько дней американцы высадились в Инчоне, северокорейская армия была разгромлена, и полного поражения Северной Кореи удалось избежать только благодаря интервенции китайской армии во главе с маршалом Пэн Дэхуайем, так называемых китайских "народных добровольцев".

конце 40-х — начале 50-х годов. В книге Чепички, в частности, рассказывается, что в 1952 г. Сталин собрал совещание министров обороны социалистических стран Восточной Европы. На этом совещании Сталин заявил, что в ближайшие год-два ожидается мировая война, и потребовал от министров готовиться к ней.

Для осуществления поставленных целей нужно было решить две труднейшие задачи: военную — создать атомное оружие — и политическую — поднять народ на войну. Решение последней задачи было особенно трудным, и Сталин прекрасно понимал это: поднять народ на новую войну всего лишь через 8-10 лет после окончания тяжелейшей и самой кровавой в истории России войны да вдобавок еще против бывшего союзника — Америки — нельзя было средствами обычной пропаганды и даже террор здесь, вероятно, тоже бы не сработал. Нужно было поднять ярость народа. Но не абстрактную ярость к кому-то за океаном, о ком обычный человек знает только по радио. Нужно было, чтобы каждый человек видел предмет своей ненависти тут же рядом с собой, знал, что он угрожает ему самому и его семье, а направляют этих врагов и руководят ими из-за океана. Найти подходящий объект для ненависти народа было нетрудно — это были евреи. Евреи идеально подходили для этой цели: каждый видел еврея, каждый мог иметь объект своей ненависти рядом, да и старые российские традиции антисемитизма не были забыты. Сталин и послушный ему аппарат партии и государства со второй половины 40-х годов намеренно разжигали антисемитизм (борьба с космополитизмом, аресты и расстрелы еврейских деятелей культуры, арест, а затем расстрел участников группы "вредителей" на ЗИСе и т.д.). Антисемитская кампания, которая поднималась, нарастая, вплоть до самой смерти Сталина, не была еще одним эпизодом в сталинской политике репрессирования неугодных ему народов — она была средством к далеко идущей цели. Новым и очень важным этапом на пути к этой цели стало "дело врачей". В конце 1952 г. была арестована группа профессоров, крупнейших медицинских специалистов. Все они, за исключением одного, или, может быть, двух, были евреи. Им было предъявлено обвинение в том, что, действуя по заданию американской еврейской шпионской организации "Джойнт", они пытались под видом лечения умертвить руководителей партии и государства. С момента появления первого сообщения о "деле врачей" для меня было ясно, что это фальшивка, сфабрикованная по указанию Сталина, и что это начало новой кампании. "Дело врачей" было задумано с далеким прицелом: надо было показать, что даже люди самой благородной профессии — врачи — у евреев являются убийцами. И это не сводилось к двум десяткам арестованных и посаженных в тюрьму видных врачей: по стране распространились слухи, что все врачи-евреи — враги народа и преступники. Я сам слышал неоднократно на улице, в магазинах и т.д. высказывания типа: "У нас в поликлинике врач — еврей. Я не пойду к нему — он меня отравит". Или: "Такой-то умер в больнице — его убил

врач-еврей". И эта ненависть потом распространилась уже не только на врачей.

Дальнейший сценарий предполагался следующим. Арестованных по "делу врачей" должны были публично казнить через повешение на Красной площади. Одновременно должны были начаться "стихийные" выступления народа против евреев. И тогда группа выдающихся евреев должна была обратиться с письмом к Сталину и Советскому Правительству, в котором признавалась бы коллективная ответственность евреев как нации за то, что в их среде выросли такие выродки, и говорилось бы о справедливом гневе народа. Вместе с тем, авторы письма просили бы для защиты евреев от гнева народа переселить их всех в районы Дальнего Востока[1]. Соответствующие лагеря либо уже были подготовлены, либо строились. Согласно плану, на пути следования эшелонов проходили бы стихийные выступления масс. Легко было предсказать резкую реакцию Америки, которая, конечно, встала бы на защиту евреев. Западная Европа, конечно, поддержала бы Америку. И тогда, по замыслу Сталина, можно было бы переключить ярость народа с внутреннего на внешнего врага. (Как говорил Сталин по другому поводу, "ни на минуту не прекращая борьбы" с врагом внутренним.)

Нужно было решить и вторую задачу — военную. В конце 40-х годов Советский Союз обладал безусловным превосходством в сухопутных вооруженных силах в Европе. Но этого было недостаточно: необходимо было иметь если не паритет в ядерном оружии с Америкой, то, по крайней мере, такое его количество и качество, чтобы американцы всерьез задумались, прежде чем применить атомную бомбу в случае начала войны в Европе с помощью обычного оружия, опасаясь атомного удара по Соединенным Штатам.

Начиная с 1949 г. у СССР уже было атомное оружие. Но его было мало, и в этом отношении мы сильно уступали Америке. В 1945 г., а может быть, и несколько раньше, стало известно, что в Америке ведутся работы по созданию гораздо более мощного оружия — водородной бомбы, но они еще далеки от завершения. Предложения о создании водородной бомбы в СССР было выдвинуто в том же году И.И. Гуревичем, Я.Б. Зельдовичем, И.Я. Померанчуком и Ю.Б. Харитоном, но тогда оно не получило развития. (Это предложение сейчас опубликовано [1], о последующем его развитии я буду говорить дальше.) В 1949 г. было принято решение форсировать работы по созданию водородной бомбы, где были шансы догнать Америку. К работе были привлечены группы, которые либо вообще до этого не

---

[1] Такое письмо, по имеющимся у меня сведениям, уже было написано — его написал историк КПСС академик И. Минц — и кое-кем уже подписано. Я знаю, по крайней мере, фамилии двух человек, которые — под сильнейшим давлением, конечно, — подписали это письмо. Этих людей давно уже нет, и чтобы не тревожить их прах, я не буду называть их имен. Имя же мужественного человека, отказавшегося подписать это письмо, я назову — И.Г. Эренбург.

занимались бомбой, либо решали лишь отдельные, связанные с этим, задачи. Была привлечена группа И.Е. Тамма, включая А.Д. Сахарова, группа Н.Н. Боголюбова, И.Я. Померанчука и другие.

Я хочу подчеркнуть, что, как я полагаю, цель не состояла в том, чтобы, опередив США в создании водородной бомбы, выиграть атомную войну против Америки. Я думаю, что Сталин понимал, что это невозможно. Цель состояла в том, чтобы, создав водородную бомбу примерно одновременно с американцами, провести испытание и продемонстрировать, что у нас тоже есть водородное оружие. При этом американцы не будут знать, сколько у нас водородных бомб — две, три или пять. И в случае начала войны в Европе обычным оружием (и это, конечно, был бы блицкриг ввиду явного превосходства СССР в сухопутных войсках), весьма вероятно, что США не применили бы атомное оружие, опасаясь удара водородных бомб по их территории. Таким образом, советская водородная бомба служила бы средством атомного шантажа при начале войны в Европе обычным оружием.

Дальнейшие события полностью подтверждают этот сценарий. К концу 1952 г. стало ясно, что водородная бомба в скором времени (полгода — год) будет создана: все принципиальные вопросы были решены, оставалось в основном лишь техническое воплощение. С середины 1950 г. началось сначала проектирование, а затем сооружение и пуск реакторов для производства трития — основного компонента, необходимого для водородной бомбы. Одновременно шла политическая подготовка: декабрь 1952 г. — "дело врачей", развязки его можно было ожидать где-то весной — летом 1953 г. Испытание водородной бомбы в СССР было в августе 1953 г., возможно, оно несколько задержалось из-за смерти Сталина и последующих за ней пертурбаций (казни Берии, смены руководства атомной проблемы и т.д.). Так что я глубоко убежден, что, если бы не вмешательство судьбы — смерть Сталина в марте 1953 г. — третья мировая война разразилась бы где-то в 1953 или 1954 г. и мир был бы на грани (или даже за гранью) катастрофы. Поэтому создание в СССР водородной бомбы в начале 50-х годов с моей точки зрения было страшнейшей опасностью для человечества.

И тут я подхожу к деликатному вопросу — о роли советских физиков в создании водородной бомбы. (Я хочу подчеркнуть, что то, что говорится ниже, относится именно к водородной бомбе, не к атомной. С атомной бомбой, создававшейся частично в военное время, частично сразу после войны, ситуация была иной.) Как это ни не неприятно, но я должен сказать, что подавляющее большинство выдающихся физиков, имевших отношение к этой проблеме, которых я знал (но не все!) — не понимало этой грозной опасности — наоборот они были убеждены, что создание атомного и водородного оружия в СССР способствует предотвращению войны, что оно является защитой от возможной американской агрессии. И поэтому они работали так хорошо, как могли, проявляя инициативу и не жалея сил и времени.

Здесь я должен отвлечься. Атомная бомба была создана в СССР в 1949 г. Но, как сейчас открыто признается, в том числе и самим Харитоном, в создании атомной бомбы мы пошли по американскому пути, располагая данными об устройстве американской атомной бомбы. Совсем иная ситуация сложилась с водородным оружием. Советская водородная бомба была оригинальной, и в этом заслуга Андрея Дмитриевича Сахарова. Как известно, в водородной бомбе идет реакция слияния трития T и дейтерия D, $T + D$ или $T + T$. Поэтому для создания водородной бомбы был необходим тритий. В конце 40-х — начале 50-х годов, когда встал вопрос о создании водородной бомбы, в СССР трития практически не было. (Тритий нестабилен, его период полураспада 8 лет, поэтому в природе, например, в воде, он существует в ничтожных количествах.) Тритий можно производить в атомных реакторах, работающих на обогащенном уране. В начале 50-х годов в СССР таких реакторов не было, и была только поставлена задача их сооружения. Было очевидно, что за короткое время — 2-3 года — не удастся наработать значительное количество трития. А Сталин торопил. (Я, конечно, не мог знать этого непосредственно, но я мог судить об этом по тому, как велись работы по созданию реакторов для производства трития, в которых я участвовал.) Поэтому крайне важным было разработать такую водородную бомбу, которая требовала бы минимального количества трития.

Эту проблему решил А.Д. Сахаров. Он придумал — именно, придумал, это была его идея — как сделать водородную бомбу на минимальном количестве трития. Тут я могу сослаться на слова И.Я. Померанчука, который как-то сказал мне: "Андрей Дмитриевич не столько физик-теоретик — он гениальный изобретатель". В то время я не знал, в чем по существу состояла идея Сахарова (в "Воспоминаниях" Сахарова она названа 1-й идеей). Говоря о ней со мной, Померанчук сказал только одно слово "слойка", оставляя мне догадываться обо всем самому. Сейчас эта идея известна. Именно она позволила взорвать в СССР первую водородную бомбу почти одновременно с американской. (Первое испытание американской водородной бомбы было проведено в апреле 1953 г., причем эта бомба, в отличие от первой советской водородной бомбы, была нетранспортабельной — ее нельзя было использовать как оружие.) Уже в конце 1952 г. Сталин знал, что работы по созданию у нас водородной бомбы идут успешно, и это, с моей точки зрения, полностью коррелировалось с его политическими действиями. И, как я сейчас понимаю, действия ученых, которые работали над проблемой водородной бомбы и вкладывавших в эту работу всю силу своего ума и таланта, объективно обладали отрицательным качеством. Тут я хочу оговориться, что не все ученые, имевшие отношение к атомной проблеме, действовали так, не все были столь слепы. Таким исключением был Ландау. Это видно из краткого замечания, которое есть в книге Сахарова. Я приведу его дословно, поскольку оно очень важно.

"Однажды, в середине 50-х годов, я (Сахаров — Б.И.) приехал зачем-то в Институт физических проблем, где Ландау возглавлял Теоретический отдел и отдельную группу, занимающуюся исследованиями и расчетами для "проблемы". Закончив деловой разговор, мы со Львом Давыдовичем вышли в институтский сад. Это был единственный раз, когда мы разговаривали без свидетелей по душам. Л.Д. сказал:

— Сильно не нравится мне все это. (По контексту имелось в виду ядерное оружие вообще и его участие в этих работах, в частности.)

— Почему? — несколько наивно спросил я.

— Слишком много шума.

Обычно Ландау много и охотно улыбался... Но на этот раз он был грустен, даже печален".

В этом коротком разговоре виден весь Ландау и его отношение к "проблеме". Особенно характерна последняя реплика. Принципом Ландау было: если человек с первого раза не понимает нечто очевидное с его, Ландау, точки зрения, то объяснять ему нечего — надо прекратить разговор, сказав малозначащую фразу.

Ландау занимался "проблемой". В этой его работе участвовали и другие люди из его группы. Для этих занятий у них была специальная комната (переделанная из бывшего туалета с дырками в полу) на первом этаже ИФП, за солдатом. Наука происходила на втором этаже. Ландау занимался "проблемой" добросовестно, причем добросовестно в своем масштабе. Он выполнял все порученные ему задачи на своем высоком уровне, так, что к нему никак нельзя было придраться. Но он не проявлял инициативы и старался уходить в сторону, когда только это было возможно. Здесь, конечно, нужна была величайшая осторожность — легко было поплатиться головой. Я знаю и другие примеры людей, которые, по-видимому, лучше других понимали ситуацию, и хотя и имели некоторое отношение к проблеме, но тоже не проявляли инициативы. Среди них я хотел бы отметить В.Б. Берестецкого.

Теперь я расскажу о проекте водородной бомбы, в разработке которого я сам принимал участие. История этого проекта началась с предложения, внесенного в 1945 г. И.И. Гуревичем, Я.Б. Зельдовичем, И.Я. Померанчуком и Ю.Б. Харитоном [1]. Идея предложения состояла в следующем. (На жаргоне эта система называлась "труба".) Длинный цилиндр наполнялся дейтерием. На одном конце трубы помещался тритиевый запал, который зажигался тем или иным способом и создавал очень высокую температуру. Далее по трубе распространялась взрывная волна реакции $D + D$. Такая система могла иметь любую, сколь угодно большую длину и была дешева, так как дейтерий дешев, а тритий был нужен только для запала. Мощность взрыва такой бомбы была ограничена только возможностью ее транспортировки. Обсуждалось, например, что бомбу, замаскировав, доставят на корабле к берегам Америки и там взорвут, уничтожив все побережье. (Ср.

приведенное в книге Сахарова обсуждение сходного предложения, которое вел А.Д. Сахаров с контр-адмиралом Ф. Фоминым. Интересна реакция Ф. Фомина: "Мы, моряки, не воюем с мирным населением".)

До недавнего времени я считал, что предложение И.И. Гуревича и др. было оригинальным. В этом же был убежден и один из авторов — И.И. Гуревич. Сейчас, однако, известно, что аналогичный проект разрабатывался в США — там он назывался классический Супер (classical Super). Идею его высказал еще в 1941 году Э. Ферми в разговоре с будущим "отцом американской водородной бомбы" Э. Теллером. Теллер стал развивать эту идею и интенсивно работал над проектом на протяжении нескольких лет. Весной 1945 г. советская разведка дала первую информацию об американском проекте водородной бомбы, а в октябре 1945 г. поступило более подробное изложение проекта. Предложение И.И. Гуревича и др. было представлено 17 декабря 1945 года[1]. Поэтому сейчас я думаю, что идея советского проекта "трубы" пришла из разведывательных данных. Но конкретная и детальная проработка проекта, безусловно, была оригинальной. Я уверен в этом, поскольку хорошо знал двух авторов — Померанчука и Гуревича: они не могли присвоить чужие идеи. Почему же Гуревич считал, что все в их предложении, включая основную идею, было оригинальным? Дело в том, что данные разведки сообщались очень узкому кругу лиц: из физиков только Курчатову, Харитону и, может быть, Зельдовичу, и эти люди, сообщая их другим, не могли ссылаться на источник и вынуждены были выдавать американские идеи за свои. Поэтому Гуревич (и, по-видимому, Померанчук) искренне думали, что все предложение от начала до конца есть творение четырех авторов.

Насколько мне известно, до 1949 г. работы над этим проектом не велись, по-видимому, потому, что не была еще создана атомная бомба, и все усилия были направлены туда. Кроме того, не имея атомной бомбы, которая должна была служить запалом — поджигать тритий — нельзя было всерьез разрабатывать водородную бомбу. Детальные теоретические расчеты "трубы" начались в 1949 или в 1950 г. и велись в основном группой Зельдовича в Арзамасе-16. В работе также принимала участие группа Ландау, но она решала отдельные, выделенные из общей проблемы задачи. Главная проблема, решение которой определяло, удастся ли создать такую бомбу или нет, состояла в том, каков будет баланс энергии. Процесс горения в трубе происходит при высоких температурах (реакция $D + D$ требует более высокой температуры, чем $D + T$). При этом в плазме в результате столкновений электронов с ионами и электронов с электронами рождаются γ-кванты тормозного излучения, которые вылетают, унося энергию из объема, где происходит ядерная реакция, и охлаждают систему.

---

[1] Автор благодарен Г.А. Гончарову за эту информацию, см. также [3].

Для осуществления самоподдерживающейся ядерной реакции — взрыва бомбы — необходимо, чтобы баланс энергии был положительным, т.е., чтобы энергия, возникающая за счет ядерных реакций, превосходила энергию, вылетающую из системы. Энергия γ-квантов тормозного излучения в среднем значительно меньше средней энергии (температуры) электронов. Однако, на пути от места рождения до выхода из системы γ-кванты могут несколько раз рассеяться на электронах и, поскольку энергия электронов больше энергии γ-квантов, увеличить свою энергию (обратный Комптон-эффект). Для расчета баланса энергии чрезвычайно важно знать, во сколько раз энергия, уносимая γ-квантами из системы, превосходит энергию первоначального излучения. (Эта величина получила название коэффициента комптонизации.)

Как указано в книге Родса [4], мысль о том, что обратный Комптон-эффект необходимо учитывать при расчете классического Супера, и он является критичным для реализации этого проекта, высказал Бете на совещании в Лос-Аламосе в апреле 1946 г. До этого Теллер не принимал этот эффект во внимание. Группа Я.Б. Зельдовича провела расчеты "трубы", включая гидродинамику плазмы и расчет коэффициента комптонизации, и получила результат, что баланс энергии нулевой, т.е. что энергия, рождающаяся за счет ядерных реакций, равна энергии, вылетающей из системы. Точность коэффициента комптонизации, однако, была невелика, что-нибудь вроде фактора 1,5-2. Если бы этот неизвестный фактор сработал в балансе энергии в положительную сторону, бомбу можно было бы сделать. Если же он бы сработал в отрицательную сторону, то бомба не взорвалась бы: как говорили тогда, получился бы "пшик". Естественно, что этот ответ никого не устраивал. Такой стиль вычислений — с точностью до двойки — был вообще характерен для Якова Борисовича. В ряде случаев он был очень хорош и приводил к поразительным успехам, но здесь не сработал.

Улучшение точности — доведение ее до 10-20% — требовало совсем других методов. При тех температурах, которые ожидались в системе, на этом уровне точности надо было учитывать релятивистские эффекты, угловую симметрию в комптоновском рассеянии и т.д. Группе Зельдовича одной справиться с такой задачей было не под силу. В это время — в середине 1950 г. — решением высокого начальства в Арзамас-16 в длительную командировку был направлен И.Я. Померанчук. Исаак Яковлевич очень тяготился своим пребыванием там. Незадолго до этого произошел мощный прорыв в науке — в квантовой электродинамике появились работы Швингера, Фейнмана и Дайсона. Исаак Яковлевич очень хотел заниматься этими вещами, обсуждать их с Ландау и другими физиками, а тут, на базе, приходилось заниматься совсем другим делом. Кроме того, у него были и личные причины, по которым он очень хотел вернуться в Москву. И Померанчук выступил перед руководством с предложением, что он со своей группой в ИТЭФ (тогда Теплотехническая лаборатория — ТТЛ) берется в

сотрудничестве с группой Зельдовича решить эту проблему при условии, что его отпустят с базы. Схема работы предполагалась следующей. Группа Зельдовича на основе гидродинамических расчетов при грубом учете комптонизации выдает распределение плотностей и температур в плазме. Для этого распределения группа Померанчука с достаточно хорошей точностью вычисляет отток энергии за счет γ-квантов с учетом комптонизации. Используя эти результаты, группа Зельдовича поправляет расчет гидродинамики и т.д. Ожидалось, что после нескольких итераций процесс сойдется, и задача будет решена с достаточной точностью. Группа Померанчука действительно хорошо подходила для решения этой задачи, поскольку мы были одной из немногих групп (если не единственной) в нашей стране, которые в то время владели фейнмановской техникой, а она была очень полезна для вычисления коэффициента комптонизации.

Предложение Померанчука было одобрено, он вернулся в Москву и подал на оформление список участников группы. Дело в том, что, хотя все члены группы уже имели достаточно высокие секретные допуска — мы занимались реакторами — это дело проходило по особой, самой высокой степени секретности: все документы по этой тематике шли "под 4 буквами" (с.с.о.п. — сов .секретно, особая папка), а главные отчеты писались от руки: их нельзя было доверить даже самым засекреченным машинисткам. (Заключительный отчет Померанчук писал сам от руки в трех экземплярах без копирки.) В группу Померанчука из физиков вошли В.Б. Берестецкий, А.Д. Галанин, А.П. Рудик и я. Математическую часть возглавлял А.С. Кронрод. Математический расчет в этой проблеме был важен и труден: нужно было решить кинетическое уравнение для распределений γ-квантов разных энергий в неоднородной среде при зависящем от энергии и анизотропном рассеянии. Кронрод охотно взялся за решение этой задачи: для него она была своего рода вызовом. И, действительно, он придумал эффективный метод численного решения уравнения Пайерлса путем интегрирования по лучам. В то время никаких ЭВМ не было, и вычислительная техника сводилась к клавишным счетным машинам. М.В. Келдыш, возглавлявший комиссию по математическому обеспечению атомной проблемы, выделил мощное вычислительное бюро Л.В. Канторовича, будущего лауреата Нобелевской премии, в Ленинграде, в котором было 40 расчетчиц. В решении этой задачи Кронрод проявил высочайший класс и намного превосходил Канторовича. Я неоднократно присутствовал при их обсуждениях и всегда идеи выдвигал Кронрод, а Канторович был не более чем квалифицированным исполнителем. Может быть, конечно, это было связано с тем, что Канторович, мягко говоря, не испытывал по отношению к этой задаче никакого энтузиазма. (Хотя ему передавались материалы в таком виде, в котором физика была скрыта — всего лишь под двумя буквами, но я думаю, он догадывался, что он делает.)

Из физиков А.Д. Галанин вообще не участвовал в этой проблеме — он был целиком занят реакторным делом. В.Б. Берестецкий решал отдельно связанные с этим частные задачи. Поэтому работать начали мы с А.П. Рудиком. Сначала нам надо было проверить отчет Ландау, Лифшица, Халатникова и Дьякова, в котором было вычислено сечение комптоновского рассеяния на электроне в плазме. Проверяя его, мы обнаружили, что расчет неверен. Нам помогло то, что мы работали ковариантно, в фейнмановской технике и вычисляли сразу сечение рассеяния на движущемся электроне, тогда как Ландау и другие получали его лоренц-преобразованием из сечения на покоящемся электроне и при этом ошиблись. И тут произошло неожиданное. Мы начали работу, не дожидаясь официального разрешающего допуска — работа не терпела отлагательства. Допуск пришел на всех, кроме Рудика. Рудику в нем было отказано. Алексей Петрович Рудик, по происхождению из казаков, в то время секретарь комсомольской организации ТТЛ, не получил допуска, а я, Иоффе Борис Лазаревич, беспартийный, никогда не бывший даже комсомольцем — получил! Было чему удивляться. Немедленно мы сделали вид, что Рудик никак в этом деле не участвовал. Так что из физиков в нашей группе я фактически остался один. Померанчук участвовал в обсуждении результатов, особенно на конечной стадии, но реально не работал. Вычисления были завершены в конце 1952 г. В результате баланс энергии оказался отрицательным, т.е. если принять за единицу энергию, выделяющуюся в ядерных реакциях, то энергия, вылетающая из трубы, составляла 1,2. Система не шла, такую бомбу нельзя было сделать принципиально. Человечеству страшно повезло или, может быть, Бог смилостивился над ним. Ведь сказать, что такая бомба была бы ужасной, сравнить ее с ужасами из Апокалипсиса — это значит ничего не сказать. Я считаю, что и мне лично очень повезло: на моей душе нет тягчайшего греха — участия в создании такой бомбы.

Поскольку сделать бомбу по этой идее оказалось невозможным, причем принципиально невозможным, то лет через 15-20, как само первоначальное предложение Гуревича и других, так и последующие работы были рассекречены. Много лет спустя я узнал, что американцы пришли к такому же — отрицательному выводу.

В связи с этой проблемой я сделал одну научную работу, которая, как ни странно, до сих пор не устарела (или не полностью устарела), так что недавно я ее опубликовал [5]. В расчетах комптонизации, о которых я говорил, не учитывалась поляризация γ-квантов, т.е. все расчеты проводились на основе сечения комптон-эффекта, усредненного по поляризациям начального и конечного γ-кванта. Такой подход, однако, не правилен, поскольку комптоновское сечение сильно зависит от поляризации γ-квантов. Например, есть значительная азимутальная асимметрия вылетающих квантов, если поляризация начального фиксирована. Хотя с самого начала было ясно, что большого эффекта здесь ждать нельзя (поляризация не влияет при

одном столкновении и, как я показал, при большом их числе), эффект надо было исследовать, так как баланс был тонким и даже малые эффекты могли сыграть роль. С учетом поляризации задача перестала быть классической, а стала квантовой. Пришлось ввести матрицу плотности (тут опять помогла фейнмановская техника) и записать для нее уравнения, подобные кинетическим. Мне удалось показать, что в модельной задаче (но в плоской геометрии, не имеющей ничего общего с геометрией трубы) эффект поляризации мал — 2-3% и отрицателен, т.е. ухудшает энергетический баланс. После этого все заинтересованные лица поверили, что этот эффект не может спасти "трубу".

Исаак Яковлевич предложил мне по этой работе защищать кандидатскую диссертацию, хотя к тому времени у меня было достаточно открытых работ. Он считал, что защита по такой сверхсекретной тематике создаст мне необходимую "крышу", а, как я расскажу дальше, "крыша", действительно, была нужна (была зима 1952/53 года!). Он говорил: "Рудик может защищаться по открытой тематике, Вам — лучше по закрытой". Защищался я в ЛИПАНе (Курчатовский институт) в конце 1953 г. Там был единственный Ученый Совет, где могли проходить защиты закрытых диссертаций по атомной проблеме. Председателем Совета был Курчатов, его заместителем — Арцимович. В Совет входили все крупнейшие физики, участвовавшие в проблеме. На защите произошел любопытный эпизод. Диссертация была под четырьмя буквами, хотя в ней рассматривалась чисто теоретическая проблема, решалась модельная задача и ничего не говорилось о "трубе". Оппонентами у меня были И.Е. Тамм и И.М. Халатников. После выступлений оппонентов (фактически именно Игорь Евгеньевич донес до присутствующих, что было сделано в работе — мне, по-видимому, это сделать не удалось) поднялся один из членов Совета -- Л.В. Грошев и сказал: "У меня нет сомнений, диссертация хорошая, но я не понял одного: почему она такая секретная?" На что председательствующий Л.А. Арцимович ему ответил: "Вот и очень хорошо, что вы этого не поняли!"

Теперь я хочу остановиться на том, как разные люди относились к "трубе". Прежде всего, А.И. Алиханов. Работа велась в ТТЛ, Алиханов был директором ТТЛ, и как всякая крупная работа, а по тем временам это была очень крупная работа, она никак не могла проходить мимо директора. Однако Абрам Исаакович с самого начала занял очень четкую позицию: "Вы хотите вести эту работу, вы можете это делать, но я не имею к этому никакого отношения и иметь не хочу". Он издал распоряжение, по которому все бумаги по этой работе шли за подписью Померанчука, минуя его, Алиханова, и отстранился от этой деятельности вплоть до самого конца, когда надо было подписать заключительный отчет с отрицательным результатом.

Ландау участвовал на начальном этапе разработки задачи, но затем отошел. В конце, когда стало ясно, что система не идет, то, поскольку

баланс энергии был лишь слабо отрицательным, возник вопрос, нельзя ли найти какие-либо неучтенные физические эффекты, которые могли бы изменить баланс, или же как-то видоизменить систему с этой же целью. В конце 1952 г. было много обсуждений этих вопросов. В этих обсуждениях помимо людей из групп Померанчука и Зельдовича участвовали также Б.Б. Кадомцев и Ю.П. Райзер из Обнинска. Они изучали сходную систему — "сферу". Хотя с этой системой с самого начала было ясно, что она требует очень много трития и что в ней нельзя добиться того эффекта, на который надеялись в "трубе" — неограниченной силы взрыва — с точки зрения теоретического расчета она имела с "трубой" много общего. Для участия в этих обсуждениях приглашался и Ландау. Когда в процессе обсуждения к нему обращались с вопросом, может ли тот или иной эффект повлиять и изменить ситуацию, его ответ всегда был одинаковым: "Я не думаю, что этот эффект мог бы оказаться существенным". После того как выяснилось, что "труба" не подходит, Померанчук сказал, что у него нет идей, как можно улучшить систему, и поэтому он не может продолжать эту работу. Он предложил мне заняться изучением оставшихся не вполне ясных вопросов (таких, как возможность существования в системе сильных магнитных полей или их искусственного создания) и сказал, что он организует мое назначение начальником группы, ведущей эти исследования. Но я отказался, сказав, что у меня нет идей. Замечу, что начальство очень хотело продолжения этих работ, особенно активен был Н.И. Павлов, генерал МГБ, тогда зам. начальника Первого Главного Управления, занимавшегося атомной проблемой. Но, так как желающих продолжить работу не нашлось, проблема была закрыта.

Позиция Ландау здесь была очень важна. Когда он говорил, что он не думает, что такой-то эффект может оказаться существенным, даже у тех, кто вначале хотел заниматься расчетом этого эффекта, желание пропадало. Такую же позицию занимал Е.М. Лифшиц — он тоже старался, по возможности, оставаться в стороне, во всяком случае, не проявлять собственной инициативы. Позиция И.М. Халатникова была другой. В работе над "трубой" он участвовал мало. Однако позже, в конце 50-х годов, он решил организовать собственную группу для работы над, по-видимому, каким-то из вариантов водородной бомбы. С предложением принять участие в этой группе он обратился, в частности, к А.П. Рудику. Исаак Маркович очень уговаривал Рудика войти в группу, соблазняя его тем, что за эту работу он, Рудик, наверняка получит Ленинскую премию, а может быть, даже станет Героем Социалистического Труда. Рудик отказался, но в силу свойств своего характера сделал это в мягкой форме. Тем не менее, Халатников включил Рудика в список будущей группы, который он подал "наверх". Там этот список каким-то образом увидел Померанчук. Он спросил Рудика, почему тот, переходя к Халатникову, не сказал об этом предварительно ему, Померанчуку. На что Рудик ответил, что он не давал согласия. Тогда

Померанчук пошел с жалобой к Ландау, тот вызвал Халатникова и сделал ему строгое внушение. Однако, по неизвестным мне причинам эта группа создана не была, и ее предполагаемые участники Героями Социалистического Труда и Ленинскими лауреатами не стали.

В США, после того как атомная бомба была создана и война окончилась, у многих физиков возникли сомнения в необходимости продолжения дальнейшей работы над атомной проблемой и, в особенности, в деле создания водородной бомбы. Ряд ученых вернулся в университеты продолжать прерванную войной научную работу и преподавание. Многие считали ненужным и даже вредным для самих США создание в США водородной бомбы. Широко известна дискуссия между Оппенгеймером и Теллером по этому поводу и последующее "дело Оппенгеймера". (Дискуссии по этому вопросу подробно описаны в книге Р. Родса [4].)

В СССР ничего подобного не было. Возникает вопрос: почему? Естественный ответ на него: "Потому что боялись", — не может полностью удовлетворить нас. Более того, ссылка на укоренившуюся в советском человеке привычку исполнять приказы, не думая, как сказано в известной песне: "...А если что не так, — не наше дело, как говорится, Родина велела", также не объясняет ситуацию полностью. Если бы труд ученых по атомной проблеме сводился бы только к подневольному труду, то не было бы таких успехов, достигнутых за столь короткие сроки. В высокой степени этот труд связан с творчеством, инициативой, невозможными при подневольном труде. Наконец, объяснение, что "это очень хорошая физика" (слова Ферми) также неудовлетворительно, поскольку оно в равной степени относится к физикам США и СССР. Мне кажется, что правильное объяснение состоит в том, что большинство создателей водородной бомбы были люди поколения 30-х годов, в большей или меньшей степени, но верившие в социализм и его построение в СССР. Лишь постепенно и нередко в результате мучительной переоценки до них доходила истина, что то страшное оружие, которое они создают, попадает в руки отъявленных злодеев. Воспоминания Сахарова, написанные очень искренне, в этом отношении весьма характерны: из них видно, что у Андрея Дмитриевича понимание стало появляться только в 60-х годах. (У некоторых других, правда, это было раньше.) Такие взгляды были не только у людей науки. Еще в большей степени это относится к писателям, поэтам, деятелям искусства. Вспомните "если враг не сдается, его уничтожают" Горького или: "...по оробелым, в гущу бегущим грянь, парабеллум" Маяковского. Но не только у этих двух, но и у значительно более, по нашим современным понятиям, добропорядочных деятелей литературы и искусства можно найти такие высказывания, относительно которых кажется совершенно непонятным, как такое можно было написать или сказать. И редким исключением были те, кто сумел сохранить ясность мысли и честность поступков и высказываний.

Теперь я перейду к другой составляющей атомного проекта в СССР — созданию атомных реакторов. Лаборатория № 3, куда я поступил на работу, была организована в декабре 1945 г. В 1950 г. Лаборатория № 3 была переименована в Теплотехническую Лабораторию (ТТЛ), в 1958 г. — в Институт Теоретической и Экспериментальной Физики (ИТЭФ). Лаборатория № 3 подчинялась Первому Главному Управлению (ПГУ) Совета Министров, ведавшему атомным проектом. Начальником ПГУ был Б.Л. Ванников, его первым заместителем — А.П. Завенягин, но фактически хозяином атомного проекта до своего падения летом 1953 г. был Берия. В 1954 г. Первое Главное Управление было переименовано в Министерство Среднего Машиностроения. Министрами СМ были В.А. Малышев (1954-1955 гг.), А.П. Завенягин (1955-1956 гг.), затем короткое время М.Г. Первухин, и начиная с 1957 г., в течение 30 лет — Е.П. Славский. (Последний, в отличие от своих предшественников, был, действительно, специалистом в своем деле — сооружении и эксплуатации ядерных реакторов, я могу судить об этом по личному опыту.) Основной задачей, поставленной перед Лабораторией № 3, было создание тяжеловодных атомных реакторов для производства плутония и урана-233 для атомных бомб. Я был принят на работу в Лаб. № 3 1 января 1950 г. и первые несколько месяцев в основном занимался чистой теорией — изучал работы Фейнмана, Дайсона и Швингера по квантовой электродинамике. Но в мае 1950 г. поступил приказ сверху: представить в кратчайшие сроки проект реактора по производству трития. Все теоретики ТТЛ, и я в том числе, были брошены на это дело, и с тех пор на протяжении десятилетий параллельно с чистой наукой мне приходилось заниматься физикой ядерных реакторов.

В последнее время в прессе интенсивно обсуждается вопрос о том, какую роль в осуществлении советского атомного проекта сыграла информация, добытая шпионами, или, как иногда утверждается, добровольно переданная некоторыми западными физиками. Ю.Б. Харитон недавно публично признал, что такая информация была крайне существенной при создании первой советской атомной бомбы, более того, эта бомба была точной копией американской. В физике атомных реакторов дело обстояло не так. Действительно, ряд важнейших идей, в частности, идеи об использовании плутония для бомбы и его производстве в атомных реакторах, пришли "оттуда", но многое из реализованного в физике и, особенно, в теории атомных реакторов есть результат творчества советских ученых и инженеров. Я мало что могу сказать о конструкции атомных реакторов в этом аспекте. Про конструкцию графитовых реакторов, сооруженных по проектам Лаб. № 2 (ЛИПАН), я не могу сказать ничего определенного — были ли тут шпионские данные или, если были, то какую роль они сыграли — я этого не знаю. В Лаб. № 3 был чертеж канадского тяжеловодного исследовательского реактора и при сооружении первого исследовательского тяжеловодного реактора в СССР оттуда кое-что было заимствовано: общий

размер бака для тяжелой воды и размер графитового отражателя. Однако, другие важнейшие элементы конструкции, как крышка реактора (через нее загружаются и выгружаются урановые стержни и осуществляется регулирование), уплотнение урановых каналов и многое другое — были изобретены и сконструированы в Лаб. № 3. При сооружении промышленных тяжеловодных реакторов уже вообще никаких заимствований не было — они были целиком сделаны на основе собственных разработок. Что касается теории атомных реакторов, то я со всей определенностью могу свидетельствовать, что созданная в СССР теория атомных реакторов была оригинальна и, более того, она превосходила американскую. Первые работы, в которых были сформулированы основные положения теории цепной реакции деления урана на тепловых нейтронах в ядерном реакторе, были написаны и опубликованы Я.Б. Зельдовичем и Ю.Б. Харитоном еще в 1940 г. [6]. Это были последние открытые публикации по данной проблеме — на Западе публикация статей по урановой проблеме была прекращена еще раньше. В этих работах была получена знаменитая формула трех сомножителей для вычисления коэффициента размножения в ядерном реакторе. (Позднее Г.Н. Флеров добавил к ней четвертый сомножитель.) Теория резонансного поглощения нейтронов в урановых блоках реактора была построена И.И. Гуревичем и И.Я. Померанчуком в 1943 г. В ней была заложена определенная физическая идея, тогда как аналогичная теория, предложенная Вигнером в США, была по сути дела просто интерполяционной формулой. Теория Гуревича и Померанчука, в отличие от формулы Вигнера, была настоящей физической теорией, которую можно было развивать, улучшать, что и происходило. При построении теории диффузии тепловых нейтронов в реакторе очень плодотворной оказалась выдвинутая Л.Д. Ландау идея охарактеризовать урановый блок одной величиной — тепловой постоянной. В построении теории ядерных реакторов в 1945-1947 гг. участвовали также Е.Л. Фейнберг, И.М. Франк, В.С. Фурсов, но основной вклад был сделан И.Я. Померанчуком. В 1945-1947 гг. А.И. Ахиезер и И.Я. Померанчук написали книгу "Теория нейтронных мультиплицирующих систем". К сожалению, эта книга никогда не была издана: в то время об ее издании не могло быть и речи — она была "совершенно секретна", а впоследствии авторы утеряли к ней интерес. Книга существует в виде рукописи, в значительной части написанной от руки, в единственном экземпляре в ИТЭФ — это два тома, каждый по 5-6 см толщиной. В книге было дано систематическое изложение всех вопросов теории ядерных реакторов. В дальнейшем более тонкие проблемы теории — теория гетерогенных решеток и др. — были исследованы А.Д. Галаниным и С.М. Фейнбергом. Так что при расчете конкретных реакторов использовалась только "отечественная теория", никаких заимствований не было. Об уровне теории реакторов в ИТЭФ можно судить по тому факту, что при всех пусках тяжеловодных реакторов, построенных по проектам ИТЭФ, начиная с первого исследо-

вательского реактора, предсказанная теоретически величина критического объема с хорошей точностью совпадала с опытом.

Здесь я хочу сделать небольшое отступление и сказать о роли И.Я. Померанчука. В конце 40-х годов почти одновременно с созданием теории ядерных реакторов он занимался другими чисто теоретическими вещами: теорией жидкого *He*, теорией синхротронного излучения и, что особенно важно, квантовой теорией поля и теорией элементарных частиц. Он был первым в Советском Союзе, кто понял важность нового развития квантовой электродинамики, начатого работами Швингера, Фейнмана и Дайсона. Он ориентировал молодых людей на работу в этом направлении и в значительной степени именно благодаря ему в эту сторону в начале 50-х годов сместился круг интересов Ландау. Мне кажется, что в начале 50-х годов одновременно с тем, как Померанчук стал все более заниматься чистой наукой, к нему приходило и более ясное понимание общей ситуации.

Возвращаясь к основной нити своего повествования, упомяну один курьезный факт. При оккупации Германии нашими войсками была захвачена немецкая лаборатория, где проводились работы по урановой проблеме. Среди захваченных материалов оказались расчеты Гейзенберга критических размеров ядерного реактора. Соответствующая формула — так называемая "формула трех арктангенсов" — попала в Лаб. № 3. Пользы от нее нам не было: она относилась к довольно простой геометрии, а мы умели рассчитывать численно куда более сложные системы. Тем не менее, А.Д. Галанин попытался ее воспроизвести, но поначалу потерпел неудачу и лишь несколько лет спустя смог ее доказать.

Единственным местом в расчете ядерных реакторов, где использовались шпионские данные, — мы называли их "икспериментальные данные" — были значения сечений захвата и деления тепловых нейтронов ураном и плутонием, а также числа вылетающих нейтронов при делении. Существовали также данные измерений этих величин, выполненные в СССР (в ЛИПАН и ТТЛ), но точность их была несколько хуже, и мы больше верили "икспериментальным данным". Однако данные по резонансному поглощению использовались свои, в основном полученные в ЛИПАНе и частично в ТТЛ. Они описывались формулами Гуревича-Померанчука, что приводило к хорошей точности и позволяло проводить нужные экстраполяции (например, в случае кольцевых урановых блоков, блоков с замедлителем и т.д.).

Шпионские материалы, которые поступили в Лаб. № 3 в 40-х годах, шли обычно за подписью Я.П. Терлецкого. Я.П. Терлецкий, профессор МГУ (он читал там курс статистической физики), по совместительству работал в МГБ. В его обязанности входило сортировать поступающие из-за границы материалы по атомному проекту. (Терлецкий не был специалистом по ядерной физике и никакого иного участия в атомном проекте не принимал.) В 1945 г. Терлецкого (с рекомендательным письмом от П.Л. Капицы) послали в Копенгаген к Н. Бору с целью выяснить у того, что он

знает по атомной проблеме. (Беседа Терлецкого с Бором — вопросы Терлецкого и ответы Бора — опубликованы в газете "Московский комсомолец" от 29.06.94.) Подавляющее большинство ответов Бора носит общий характер и мало информативно. Но один ответ представляет интерес и мог бы дать полезную для того времени информацию (если, конечно, она не была уже известна). Терлецкий спросил Бора, через какое время извлекаются урановые стержни из атомного реактора. Ответ Бора был, что точно он не знает, но, вроде бы, примерно через неделю. Эта информация важна по следующей причине. В урановых стержнях при работе реактора накапливается плутоний-239, который затем химически извлекается из урановых стержней и используется как заряд в атомной бомбе. Однако за счет захвата нейтронов плутонием-239 происходит также накопление другого изотопа плутония — ^{240}Pu. Этот изотоп вреден для бомбы и при большом его содержании взрыва не будет — будет "пшик". Химически эти два изотопа не разделяются, извлекается смесь обоих изотопов. Для обеспечения взрыва бомбы нужно, чтобы отношение ^{240}Pu к ^{239}Pu не превосходило определенной величины. Концентрация ^{240}Pu растет квадратично со временем выдержки уранового стержня в реакторе, а концентрация ^{239}Pu — линейно. Поэтому время выдержки для получения пригодного для бомбы плутония не может быть очень большим и его величина является важным параметром, определяющим, какова допустимая концентрация ^{240}Pu в бомбе[1]. Таким образом, тут Бор сообщил важное число. Но ответ Бора был грубо — раз в 5-10 — неверен! То ли Бор сам не знал, то ли умышленно ввел Терлецкого в заблуждение. Последнее не исключено, поскольку скорее всего Бор должен был относиться к Терлецкому с предубеждением (Терлецкий из МГУ, а оттуда незадолго до того времени изгнали всех крупных физиков: Ландау — ученика Бора, Тамма, Леонтовича и др.). И вряд ли рекомендация Капицы улучшала дело: у теоретика Терлецкого должна была быть рекомендация от Ландау. Замечу, что в Лаб. № 3 ничего о поездке Терлецкого известно не было.

Остановлюсь на эпизоде, относящемся к прибытию в СССР Б. Понтекорво. Как известно, в конце 40-х годов Понтекорво жил в Англии. Примерно в начале 1950 г. — когда точно, я не помню — он поехал с семьей в Финляндию, якобы на отдых. Там их ждал советский пароход "Белоостров", на который они сели и прибыли в СССР. Операция по выезду из Финляндии была произведена нелегально, и лишь потом, когда Понтекорво исчез из Финляндии, западные спецслужбы определили, что он исчез именно таким образом. У нас в печати никаких сообщений о его прибытии не было, и я, например, узнал об этом значительно позже из американского

---

[1] По этой же причине плутоний, образующийся в реакторах атомных электростанций, где выдержка очень велика, очень трудно использовать для создания бомбы. До 90-х годов этого вообще делать не умели. Сейчас научились делать также бомбы из плутония, сильно загрязненного ^{240}Pu, но они требуют значительно большего количества активного вещества. (Автор благодарен С. Дреллу за информацию по данному вопросу).

журнала "Science News Letters". По прибытии в СССР Понтекорво жил и работал в Дубне. Выезд из Дубны ему был запрещен примерно до 1955 г., и он жил там как бы в ссылке. Его существование и имя были секретны, фамилию его упоминать было нельзя. Померанчук, который в то время часто ездил в Дубну, по возвращении оттуда неоднократно говорил, что он обсуждал такой-то вопрос с "профессором" или "профессор" сказал то-то. "Профессор" — это был Понтекорво, но имени его Померанчук не произносил — это было табу до 1953-1954 года.

Где-то в 1950 г. А.Д. Галанина неожиданно вызвали в Кремль. Такой вызов был весьма необычным — вызывали в разные места, но в Кремль — никогда. Поскольку Галанин занимался реакторами, было очевидно, что вызов связан с реакторным делом. Обычно Галанин все реакторные проблемы обсуждал с Рудиком и мной, которые тоже вели расчеты реакторов — просто иначе нельзя было бы работать. Но тут он вернулся из Кремля — и молчит. В то время у теоретиков ТТЛ действовал введенный Померанчуком принцип — не спрашивать. Как говорил Исаак Яковлевич: "Кому нужно, я сам скажу". Поэтому мы не спрашивали. Молчал Галанин долго — несколько лет, но потом раскололся. Оказывается, его вызывали в Кремль на допрос Понтекорво. Там собралась группа физиков, и им было предложено задавать Понтекорво вопросы о том, что он знает по атомной проблеме. Но Понтекорво знал только общие принципы. Собравшихся же в основном интересовали технические детали, например, как изготовляются урановые блоки реактора, какова технология того или иного процесса и т.д., а этого Понтекорво не знал. Так что ничего полезного он в этом разговоре не сообщил.

Жизни Понтекорво в Советском Союзе до 1955 г., с моей точки зрения, нельзя было позавидовать: выезжать из Дубны он не мог, а Дубна в то время была закрытым городом, и для ее посещения нужно было специальное разрешение. (Мне это не было разрешено. В 1952 г. или 1953 г. в Дубне состоялась закрытая конференция по физике элементарных частиц. Фамилия А.П. Рудика и моя были вычеркнуты из списка участников лично Завенягиным.) Поэтому контакты Понтекорво с физиками были сильно ограничены — например, он не мог общаться с Ландау — тот не ездил в Дубну. Понтекорво не мог публиковать никаких научных статей — его имя на пять лет полностью исчезло из науки. Тем не менее, он не изменил своих коммунистических взглядов. Позже, в 1956 г., мы были с ним вместе на конференции по физике элементарных частиц в Ереване и жили в одном номере гостиницы. Понтекорво как раз перед этим вернулся из поездки в Китай, куда ездил в составе советской делегации. Как-то вечером, уже лежа в постели, он стал рассказывать мне о своих впечатлениях. Он был в восторге от того, что увидел: как хороши коммуны, с каким энтузиазмом народ строит коммунизм и т.д. Не выдержав, я заметил: "Бруно Максимович! Если смотреть на страну извне или быть в ней гостем короткое время,

можно очень сильно ошибиться". Бруно Максимович прервал разговор, сказав: "Давайте спать". Он не простил мне этого замечания: наши отношения, которые до того были очень хорошими, уже никогда больше не восстановились. Конфликт с Китаем разразился примерно через год-два после этого разговора.

По части наших отношений с Китаем Померанчук был намного дальновиднее. Еще в начале 50-х годов, в эпоху песни "Москва-Пекин", он предсказывал серьезнейшие конфликты и, может быть, даже войну с Китаем в будущем. Правда, такое предсказание можно было бы также прочитать в книге "1984" Оруэлла, вышедшей в 1949 г. Но в то время мы не знали о существовании этой книги.

Раз уж зашла речь о Дубне, я перескажу историю, которую мне рассказали как вполне достоверную, о том, как был организован Институт в Дубне (он назывался тогда Гидротехническая Лаборатория (ГТЛ) — по-видимому, потому что был расположен на Волге, никакой гидротехники там не было и в помине). Институт был организован по предложению Курчатова для изучения физики элементарных частиц и атомного ядра, и, по сути дела, проводившиеся там исследования не имели отношения к атомному оружию. (Хотя начальство длительное время было убеждено в обратном.) Когда принималось решение о создании Института, естественно, возник вопрос о месте, где его построить. Для изучения этого вопроса была создана специальная комиссия. Берия собрал совещание, на котором комиссия представила свои рекомендации: было предложено три возможных места размещения будущего института. Выслушав комиссию, Берия попросил принести карту, ткнул пальцем в место будущей Дубны (его не было среди рекомендованных комиссией) и сказал: "Строить будем здесь".

— Но, — робко возразил кто-то, — здесь болота, неподходящий грунт для ускорителей.

— Осушим.

— Но сюда нет дорог.

— Построим.

— Но здесь мало деревень, трудно будет набрать рабочую силу.

— Найдем, — сказал Берия.

И он был прав. Это место было окружено лагерями, и именно поэтому Берия его выбрал. Еще в 1955 г., когда я впервые смог поехать в Дубну, по дороге тянулись лагеря, стояла охрана, которой надо было говорить пароль "Мы едем к Михаилу Григорьевичу" (Михаил Григорьевич — это был М.Г. Мещеряков, директор ГТЛ).

Теперь я расскажу о двух крупных физиках, связанных с атомной проблемой, которых я знал — И.В. Курчатове и А.И. Алиханове. Хотя Алиханова я знал намного лучше, я начну с Курчатова, поскольку он более известен. Курчатов был человеком очень необычным — он был организатором высочайшего класса — я не знаю ни одного другого человека с такими

блестящими организаторскими способностями. Прежде всего, он обладал колоссальнейшим влиянием. При этом у него не было соответствующего этому влиянию официального поста. Помимо должности директора Лаборатории № 2, переименованной в 1949 г. в Лабораторию измерительных приборов (ЛИПАН), а затем в 1956 г. — в Институт атомной энергии (ИАЭ), он занимал лишь пост Председателя Научно-технического совета при ПГУ (МСМ), органа с рекомендательными функциями. Я не знаю, как Курчатов добился такого влияния и как сохранял его, но то, что это влияние было при всех властителях — при Сталине и Хрущеве — несомненно. Я приведу один факт, которому я был свидетелем. Я находился в кабинете у Курчатова и ему по какому-то делу нужно было позвонить А.Н. Косыгину. Косыгин тогда еще не был Председателем Совмина, но был уже очень важной фигурой в правительстве, может быть, Заместителем Председателя Совмина. Игорь Васильевич набрал номер (по вертушке — прямому правительственному телефону) и сказал: " Алексей Николаевич, это говорит Курчатов. Нам нужно, чтобы было сделано то-то и то-то. И это должно быть сделано к такому-то сроку. Я прошу Вас принять меры, чтобы это было сделано". И, как я понял, ответ с той стороны был: "Это будет сделано, Игорь Васильевич". Вместе с тем, он был человеком, который понимал и любил науку (а не только себя в науке, как многие из сегодняшних ее "организаторов").

В этой связи я расскажу об одном эпизоде. Дело происходило в 1955 г., когда встал вопрос о создании атомных электростанций и их экономической целесообразности. Для решения этого вопроса нужно было знать потребность станции в уране: сколь часто нужно будет подпитывать станцию свежим ураном, т.е., какова допустимая степень выжигания урана в реакторе атомной станции. Я проводил соответствующие вычисления. Сложность проблемы состояла в том, что результат сильно зависел от физических констант — параметров урана и плутония, которые были известны недостаточно хорошо. Поэтому я пошел обходным путем и определил необходимую комбинацию констант из данных о работе действующих реакторов по производству оружейного плутония. Результаты расчета я сообщил Алиханову, а тот, в свою очередь, — Курчатову. С другой стороны, аналогичные расчеты выжигания урана в атомных электростанциях проводил С.М. Фейнберг в ЛИПАНе. В один прекрасный день меня вызывает секретарь Алиханова — его самого не было — и говорит, что по вертушке звонит Курчатов и просит меня к телефону. (В то время я был всего лишь кандидат наук, младший научный сотрудник, так что дистанция между нами была огромная.) Курчатов говорит, что знает о моих расчетах и просит сообщить результаты. Когда я кратко сообщаю ему результаты, он замечает, что мои результаты сильно расходятся с расчетами С.М. Фейнберга, мои намного хуже, и поэтому ему нужны подробности. Тогда я приношу секретную тетрадь, по телефону диктую Игорю Васильевичу цифры, которые, как я понимаю, он

откладывает на миллимитровке и сравнивает с цифрами Фейнберга. Основное различие между моим расчетом и расчетом Фейнберга состояло в том, что при глубоком выгорании урана, которое, в отличие от военных реакторов, имеет место в атомных электростанциях, происходит накопление плутония-240, имеющего большой резонансный захват. Этот захват Фейнберг не учитывал (или учел, но недостаточно), так как непосредственных измерений его не было, а я определил эффективные параметры плутония-240 из анализа работы военных реакторов. Это все я объяснил Курчатову. Разговор продолжался минут сорок, и в конце его Игорь Васильевич согласился с тем, что мои результаты правильны, хотя, очевидно, это было ему неприятно, поскольку приводило к заметному ухудшению параметров атомных электростанций.

Другой замечательной чертой Курчатова была его удивительная способность подбирать людей. Одним из примеров этого может служить тот же С.М. Фейнберг. С.М. Фейнберг возглавлял группу, проводившую физические расчеты реакторов в ЛИПАНе. В то же время он хорошо разбирался в вопросах конструкции реакторов и в теплотехнике. Сочетание этих качеств в одном лице крайне важно, поскольку физические и конструктивные требования к реактору обычно находятся в конфликте. В этом смысле ТТЛ (ИТЭФ) уступала ЛИПАНу (ИАЭ) — у нас были прекрасные физики-теоретики, рассчитывающие реактор, и отличные инженеры, но это были разные люди, что, конечно, хуже. Попал на эту должность Савелий Моисеевич Фейнберг только благодаря дару Курчатова оценивать людей с первой встречи. Как-то в разговоре с группой людей Курчатов заявил, что ему нужен человек, который мог бы рассчитывать реакторы и понимать в инженерном деле. Один из участников разговора — Е.Л. Фейнберг — сказал, что у него есть подходящий кандидат — его двоюродный брат — С.М. Фейнберг. По специальности он вовсе архитектор, но это очень способный человек, и он — Е.Л. Фейнберг, не сомневается, что за короткий срок Савелий Моисеевич освоится и справится с новой профессией. После первой встречи с С.М. Фейнбергом Игорь Васильевич взял его на работу, и тот оправдал все его ожидания.

Другим важным достоинством Курчатова было то, что хотя он был главой атомной программы и обладал колоссальнейшей властью, он не был полным монополистом и не стремился задавить конкурентов, как это сделал бы современный босс от науки. Примером такого поведения может служить программа сооружения ядерных реакторов для производства трития, о которой я говорил выше. Как глава всего атомного проекта, Курчатов мог легко забрать всю эту программу себе. Он этого не сделал — он предложил своему институту — ЛИПАНу — представить проект графитового реактора, а конкурирующей организации — ТТЛ — проект тяжеловодного реактора для той же цели. Дальше происходило сопоставление обоих проектов. Другое дело, что при таком сопоставлении ЛИПАН в лице С.М. Фейнберга

представлял завышенные параметры своего реактора, которые никак не могли соответствовать реальности — это было оборотной стороной таланта Савелия Моисеевича — тянуть цифры для того, чтобы победить конкурента. Но в итоге конкурирующая организация — ТТЛ — не была полностью задавлена, тяжеловодные реакторы строились. И это была, как я понимаю, принципиальная позиция Игоря Васильевича — допускать конкуренцию в некотором объеме — 10-20% — и не давить ее полностью. Он понимал, что конкурент так же нужен, как волк-санитар в лесу для улучшения породы, что наличие конкурента улучшает работу и его института.

Вместе с тем, Курчатов был человеком своего времени. Это был жесткий человек, это был деятель. Монополизм в науке идет именно от него. Но у него это был, если угодно, "просвещенный монополизм", смягчаемый пониманием необходимости конкуренции, любовью и интересом к науке. (Любопытная деталь: Курчатов стал членом ВКП(б) только в августе 1948 г., будучи к тому времени уже более пяти лет руководителем атомного проекта.) Одним из примеров его любви к науке, причем не только к той, которой он сам занимался, является организация в 1958 г., в эпоху лысенковщины и гонений на генетику, Радиологического отдела в ИАЭ, где проводились исследования по генетике и где кое-кто из генетиков нашел себе убежище. У тех, кто приходил после него, эти положительные черты стирались, да и научный уровень был уже не тот, а стремление к монополизму сохранялось и даже усиливалось.

Есть известное высказывание "Нет великого человека без великого события". Верно и то, что, когда великое событие, породившее великого человека, кончается, великий человек уходит и, как правило, уходит физически. Мне кажется, то же произошло и с Курчатовым, когда к 1960 г. великая задача создать атомное оружие была решена, для него уже не оставалось места, и он ушел.

Теперь я хочу рассказать об А.И. Алиханове. Я отношусь и всегда относился к Абраму Исааковичу с большим уважением и симпатией. Я считаю даже, что у меня было три учителя: Ландау, Померанчук и Алиханов, хотя Алиханов не был теоретиком и не мог учить меня по моей профессии — теоретической физике. Но он учил меня другому, не менее важному: чувству ответственности, гражданскому мужеству. Именно благодаря ему я стал значительно лучше понимать, что происходит в нашей стране. Алиханов и Курчатов были основателями ядерной физики в Советском Союзе. Именно эти две кандидатуры рассматривались при выборе главы ядерной программы — их рекомендовал А.Ф. Иоффе. Курчатов был выбран на этот пост не за его более высокие достижения (в то время Алиханов уже был членом-корреспондентом Академии Наук, а Курчатов — нет), а поскольку он произвел лучшее впечатление сначала на Кафтанова, а затем на Молотова. На выборах в Академию Наук в 1943 г., когда Алиханов и Курчатов были избраны в академики, вначале было выделено одно место, на которое был

избран Алиханов и лишь потом выделено еще одно, на которое был избран Курчатов. Но в целом, надо прямо сказать, на роль главы программы Курчатов, конечно, подходил гораздо больше, чем Алиханов.

А.И. Алиханов был создателем и первым директором Лаборатории № 3 — ТТЛ — ИТЭФ. С самого начала Институт был весьма необычным. Директор и его заместитель по науке В.В. Владимирский были беспартийными, также беспартийным было подавляющее большинство начальников лабораторий. Благодаря Абраму Исааковичу, состав института, его моральный и научный уровень были высочайшими. Как я уже говорил, институт был организован в декабре 1945 г. с задачей сооружения тяжеловодных реакторов. Но уже в первом постановлении правительства о создании Лаборатории № 3 в качестве одной из ее задач фигурировали физические исследования ядерных частиц большой энергии — основное направление работ сегодняшнего ИТЭФ. В этом сказалось блестящее научное предвидение Алиханова. Поскольку реакторы были нужны, с существованием института мирились, хотя он всегда был бельмом на глазу у начальства.

В молодости личные отношения Курчатова и Алиханова были, по-видимому, совсем хорошими. В 1942 г., когда ни у того, ни у другого не было квартиры в Москве, Курчатов короткое время даже жил у Алиханова в комнате в коммунальной квартире, принадлежавшей его жене. Позднее, когда Курчатов стал видной фигурой, отношения несколько изменились. На каком-либо совещании, которое вел Курчатов, Абрам Исаакович садился куда-нибудь в угол и пускал оттуда критические замечания. Чувствовалось, что ему хотелось "подковырнуть" Курчатова и несколько раздражало то, каким Курчатов стал деятелем. Но далеко это все не заходило. В 1954 г., когда происходил запуск так называемой "первой в мире атомной электростанции" в Обнинске[1], Курчатов, Алиханов и А.П. Александров провели месяц в Обнинске, организуя пуск станции. В том же 1954 г. Курчатов поддержал выдвинутое ТТЛ и энергичное пробиваемое Алихановым предложение о сооружении в ТТЛ ускорителя протонов с жесткой фокусировкой на 7 ГэВ, а затем по проекту ТТЛ — ускорителя протонов на 70 ГэВ под Серпуховом.

Абрам Исаакович не любил советскую власть. Он ясно понимал ситуацию в стране и не питал каких-либо иллюзий. В этом отношении он был достаточно откровенен, во всяком случае, более откровенен, чем другие известные мне видные физики. В 50-е годы он имел обыкновение раз или два в неделю заходить вечером в ту комнату, где сидели мы с А.П. Рудиком, и после обсуждения реакторных дел и вопроса "Что нового в *теории?*" переводить разговор на общие, часто политические, вопросы. Я многое

---

1 На самом деле эту электростанцию никак нельзя назвать "первой". Первым электроэнергию от атомного реактора, причем сразу на быстрых нейтронах, получил Ферми еще в 40-х годах. Следующей энергетической установкой был прототип двигателя для "Наутилуса".

узнал из этих разговоров. В частности, мне запомнились его рассказы о том, что делал Берия в бытность свою в Тбилиси до перевода в Москву, — как неугодных ему людей хватали на улицах, истязали в застенках, как организовывалась охота на женщин, которые ему понравились и которых он делал своими любовницами, а их мужей просто убирал — убивал или сажал в тюрьму. Причем говорилось это, включая общую характеристику Берии ("страшный человек!"), еще до падения Берии!

К этой общей характеристике политической позиции Абрама Исааковича можно добавить еще такой штрих. Он был единственным из крупных физиков, кто посещал П.Л. Капицу после того, как тот, по приказу Сталина, был отправлен в ссылку на свою подмосковную дачу. И посещал его до тех пор, пока его не вызвали в инстанции и не сказали, что, если он не прекратит эти посещения, он сам отправится туда же, а может быть, и подальше. От Абрама Исааковича же я узнал, что Капицу сняли с работы и сослали, потому что он написал письмо Сталину, в котором говорилось, что Берия некомпетентен в атомных делах и не может возглавлять атомный проект. Берия требовал куда более строгого наказания Капицы — ареста со всеми вытекающими последствиями, но в защиту Капицы выступили Маленков и Молотов, и Сталин смилостивился.

В Институте Алиханов старался поддерживать такой порядок, чтобы все служило на пользу науке, на пользу дела, а всевозможные бюрократические и режимные ограничения были бы сведены к минимуму. Это было не просто. В Институте существовала должность Уполномоченного Комитета обороны (потом ЦК КПСС и Совмина). Ее занимал генерал-лейтенант МГБ Осетров. Его биография примечательна: он возглавлял операцию по выселению одного из северокавказских народов. (Об этом мне рассказал его адъютант, который участвовал в этой операции.) По некоторым вопросам Осетров мог действовать через голову Алиханова, но он был умный человек и понимал, что в случае конфликта с директором одному из них придется уйти, а кому — это было неясно. Поэтому он предпочитал не вмешиваться без крайней необходимости (если не будет указания сверху). И Теплотехническая лаборатория была островом свободы (относительной, конечно) и разумности.

В первую очередь это относилось к режиму секретности. Существовало официальное правило, по которому каждый исполнитель должен был знать только свое, порученное ему дело, и не мог обсуждать его ни с кем, кроме своего начальника. В ТТЛ это правило полностью игнорировалось, и нужные обсуждения свободно проводились не только среди теоретиков, но и с экспериментаторами и инженерами. Было правило, как писать секретные отчеты. Такие слова, как уран, торий, нейтрон и многие, многие другие, нельзя было использовать. Вместо них надо было пользоваться шифром: уран был олово, торий — селен, нейтрон — нулевая точка и т.д. Временами доходило до полного абсурда. Так, например, шифром для бериллия был

алюминий, но был, ведь, и обыкновенный алюминий. Поэтому сплав бериллия с алюминием в отчете выглядел как сплав алюминия с алюминием. У нас в Институте этот тарабарский язык, сильно затруднявший понимание (и бессмысленный с точки зрения сохранения секретности) не использовался, хотя в других институтах отчеты писались именно на этом языке и им иногда даже пользовались в докладах и обсуждениях. В виде курьеза замечу, что в Обнинске, который принадлежал к другому ведомству (Обнинск относился к МГБ), был свой тарабарский язык, основанный на астрономических терминах — названиях планет и т.д. (Скажем, быстрые нейтроны были искровые метеориты.) Поэтому первым ощущением при чтении отчетов из Обнинска было чувство тошноты — начинала кружиться голова.

ТТЛ была уникальна также и по подбору кадров. Их Алиханов подбирал на основе только научной квалификации (и, конечно, порядочности — негодяев не брали). Анкетные данные — национальность, партийность — не играли роли. Конечно, здесь бывали трудности, но каждый раз Алиханову удавалось их преодолевать. И это относилось не только к известным ученым — известных ученых с плохими данными до поры до времени брали и в других местах — но и к молодым людям, включая инженерно-технический персонал. И с каждым будущим новым сотрудником Алиханов предварительно беседовал сам. Мой случай является таким примером. Я был единственным евреем со всего курса физфака в 1949 г., который получил назначение в хорошее место. Все остальные либо не получили никакого назначения, долго искали работу и в конце концов устраивались не по специальности (например, экскурсоводом в Планетарии), либо направлялись работать на заводы вне Москвы. Я не сомневаюсь, что своим назначением я обязан Абраму Исааковичу и, конечно, Исааку Яковлевичу Померанчуку, который рекомендовал меня ему.

Наконец, административный и хозяйственный персонал ТТЛ, который был весьма невелик, так подбирался и направлялся директором, чтобы работать на науку, а не на самого себя, как это обычно происходит в наше время.

Большую часть своей жизни А.И. Алиханов положил на создание тяжеловодных реакторов. Первый тяжеловодный исследовательский реактор в СССР был пущен в ТТЛ в 1949 г., т.е. через три года после организации ТТЛ. Если учесть еще, что лаборатория создавалась на ровном месте и никакого опыта в создании тяжеловодных реакторов в стране не было (да и по части графитовых реакторов опыт был очень невелик), то это потрясающий результат. Менее чем через два года после этого под руководством Алиханова на базе вступил в строй промышленный тяжеловодный реактор по производству плутония и урана-233. Одновременно, опять-таки по инициативе Абрама Исааковича, в ТТЛ стали разрабатываться проекты тяжеловодных реакторов мирного назначения — реакторов атомных электро-

станций. Одним из таких проектов (это был один из первых расчетов реакторов, которые я сделал) был проект тяжеловодного реактора-размножителя на тепловых нейтронах, работающего на цикле торий — уран-233. Замечу, что именно такой цикл, как наиболее перспективный для атомной энергетики (в сочетании с ускорителем), недавно вновь предложил лауреат Нобелевской премии К. Руббиа. Эта работа началась в 1950 г. и в дальнейшем привела к сооружению в 1972 г. первой атомной электростанции с реактором КС-150 в Чехословакии. (КС расшифровывается как котел селеновый: селен — это торий — слово из тарабарского жаргона 50-х годов.)

Однако такое успешное становление и развитие Института оказалось под серьезной угрозой в 1951 г. Причины опять были политические. Как я уже говорил, Теплотехническая лаборатория вызывала большое раздражение у властей. И вот в ТТЛ была направлена проверочная комиссия ПГУ. В это время Алиханов и его заместитель Владимирский были на базе, занимаясь подготовкой к пуску реактора, а обязанности директора исполнял Сергей Яковлевич Никитин (тоже, кстати, беспартийный). Цель комиссии была очевидна — собрать компромат. Комиссия изучала документы и допрашивала всех научных сотрудников. Вопросы задавались разные, сплошь и рядом провокационные. Меня, например, спросили, какую последнюю книгу я читал. Я сдуру сказал, что Бальзака, что было правдой. Как я потом узнал, мне было поставлено в вину, что я читаю буржуазных писателей. Меня спросили также, сколько работ я сделал за время работы в Институте. Работ было 11, из них 6 — закрытых и 5 — открытых, и все они были сделаны совместно с А.П. Рудиком. Как мне рассказал потом Сергей Яковлевич, который, как и.о. директора, входил в состав комиссии, после того как я вышел, председатель комиссии, полковник МГБ, предложил одного из нас — меня — уволить, а чтобы другой — А.П. Рудик — делал только закрытые работы. И Никитину стоило большого труда меня отстоять, аргументируя тем, что закрытых работ было больше, чем открытых, и, кроме того, когда работают двое, возникает кооперация, ускоряющая и улучшающая работу. Члены комиссии отступились только после того, как Никитин спросил их, берут ли они на себя ответственность, если в результате увольнения одного из теоретиков задания по закрытой деятельности не будут выполнены.

Но в других случаях результаты собеседования были не столь благополучными. На основании работы комиссии зам. начальника ПГУ Завенягиным был подписан приказ, фактически означающий разгром Института: несколько десятков лучших сотрудников, в основном евреев, но не только, должны были быть уволены, директору вменялись серьезные финансовые и хозяйственные нарушения — фактически, даже преступления. (Например, утверждалось, что из построенных для Института жилых домов-коттеджей

один был украден.) Был пункт относительно Померанчука. Померанчук был объявлен "злостным совместителем"[1].

И тут С.Я. Никитин совершил неслыханный по тем временам поступок — он отказался выполнить этот приказ! Он заявил, что в отсутствие директора выполнить этот приказ он не может. И в таком состоянии, не увольняя никого, ему удалось продержаться месяц или два. За это время реактор на базе был успешно пущен, Алиханов вернулся "со щитом", пошел к Ванникову и добился отмены, точнее, замены приказа. В новом приказе число увольняемых было меньше — человек 10-12 (но это по-прежнему были очень хорошие работники и только евреи), обвинения в финансовых преступлениях тоже отпали. Институт уцелел, хотя и понес серьезные потери. (Никитину не простили его дерзкого поступка — через год, придравшись к какому-то пустяку, его сняли с поста начальника отдела и перевели в старшие научные сотрудники. Вернуть его на прежнюю должность Алиханову удалось лишь через несколько лет.) Те события, о которых идет речь, были крупной массированной атакой на Институт. (Они повторились еще в 1956 и 1968 гг.) Но были и более мелкие события, когда директору приходилось защищать сотрудников (и науку) и брать на себя ответственность. Где-то в 1951 или 1952 г. нас — Галанина, Рудика и меня — вызвал Абрам Исаакович и сказал, что он просит нас написать заключение на секретный отчет. Фамилия автора была нам неизвестна, а содержание отчета состояло в объяснении устройства атомных ядер. К отчету был приложен ящик с искусно изготовленными деревянными деталями, из которых можно было составлять ядра, согласно теории автора. Но главное во всем этом было то, что на титульном листе была резолюция: "Акад. А.Н. Несмеянову. Прошу представить заключение. Берия". Далее шла резолюция Несмеянова (Президента Академии Наук), адресованная Алиханову. Абрам Исаакович, понимая наши чувства, сказал: "Напишите то, что думаете. Я подпишу, пойдет за моей подписью". После этого написать отзыв не составляло труда. Отзыв ушел — и ничего. Уже потом я узнал, кто был автор — начальник лагерей на Колыме. Это объяснило все — и подпись Берии и хорошо выпиленные деревяшки.

Я не буду говорить о роли А.И. Алиханова в событиях 1956 г. в ИТЭФ, когда решением секретариата ЦК партийная организация ИТЭФ была распущена, многих исключили из партии, а четыре человека, включая

---

[1] Действительно, за год или два до того Померанчук приказом того же ПГУ был назначен по совместительству начальником теоретического отдела в ГТЛ (в Дубне). Он регулярно, раз в неделю, ездил в Дубну, фактически создал там теоротдел, послав туда нескольких своих учеников, вел много обсуждений с экспериментаторами, направляя их на решение актуальных задач. Но никаких дополнительных денег за эту работу не брал — ни копейки, — хотя в Дубне ему настойчиво пытались заплатить. Поэтому при замене приказа Завенягина новым исключить этот пункт было нетрудно, но должность начальника теоретического отдела в Дубне Померанчуку пришлось оставить.

Ю.Ф. Орлова, были уволены. События 1956 г. и роль в них А.И. Алиханова, фактически спасшего Институт, подробно описаны в книге Ю.Ф. Орлова "Опасные мысли".

В качестве интермедии я расскажу о том, как была организована охрана ведущих ученых, занятых в атомном проекте. Каждому из них полагалось несколько человек охраны, которые постоянно, круглосуточно, несли охрану "объекта". (На их языке он так официально и именовался — "объект".) Это были офицеры МГБ в чине майора или выше, в хорошей физической форме. Мы называли их "духи". У Алиханова одно время их было трое, потом двое. Днем они сопровождали "объект", куда бы он ни пошел, а если он был на заседании или в своем кабинете, то сидели в приемной. Поэтому, проходя на какое-нибудь заседание, можно было сразу определить, сколько на нем "великих". Когда Алиханов жил в коттедже в Институте физических проблем, в передней его квартиры сидел "дух". В его коттедже на территории ИТЭФ была специальная комната для "духа". Наличие и число "духов" у разных ученых менялось со временем. Поэтому это служило мерилом престижа и положения ученого. Когда одного очень крупного ученого лишили "духов", он был глубоко этим оскорблен. Другие же, такие как Алиханов или Зельдович, тяготились этим. Работа у "духов" временами бывала довольно тяжелой и даже опасной. Так, кое-кто из "объектов" увлекался альпинизмом и бедному "духу" приходилось лезть в гору, чему его не обучали. С "духом" Алиханова как-то произошло вот что. Предполагалась поездка Алиханова в Индию, но для поездки требовалось разрешение на высоком уровне. В процессе подготовки к поездке "духу" сделали мощные прививки, в результате чего он неделю провалялся с высокой температурой. Разрешения на поездку не дали, и "дух" пострадал зря.

Я знал одного из "духов" Алиханова довольно хорошо, и часто с ним разговаривал. Это был приятный человек, "имевший отношение" к русской интеллигенции — до Алиханова он был "духом" у А.Н. Толстого. Абрам Исаакович от своих "духов" — он называл их "мои секретари" — имел большую пользу. У них была своя организация — периодически они собирались на Лубянке для инструктажа или чего-либо еще. И, естественно, там шел треп. Именно отсюда Абрам Исаакович получал информацию, в частности, очень важную информацию, о том, кто наверху идет вверх, а кто вниз. Но иногда эта информация была ложной, и Абрам Исаакович, исходивший из нее, делал промахи. Так, например, произошло с М.Г. Первухиным. В 1956 г. Первухин был назначен Министром Среднего Машиностроения. Абрам Исаакович сразу же после его назначения (а, может быть, и до) имел с ним беседу и получил поддержку. Но оказалось, что это назначение было на пути Первухина вниз — вскоре он был смещен, и его поддержка мало что значила; возможно даже, что эффект был отрицательный.

Второй основной заслугой А.И. Алиханова было создание в Советском Союзе жесткофокусирующих ускорителей протонов высоких энергий. Как известно, идея жесткофокусирующих ускорителей пришла из США, но сразу была подхвачена В.В. Владимирским в ТТЛ, где под его руководством был создан сначала проект ускорителя на 7 Гэв, а затем большего ускорителя на 50-70 Гэв. В разработке последнего большую роль сыграли Ю.Ф. Орлов и Д.Г. Кошкарев, который придумал, как проходить критическую энергию. Абрам Исаакович загорелся идеей сооружения жесткофокусирующих ускорителей и стал со свойственной ему энергией проводить ее в жизнь. Он добился того, чтобы к ТТЛ была присоединена прилегающая территория, и на ней началось сооружение ускорителя на 7 Гэв. Он воодушевлял и организовывал все экспериментальные группы для работы на будущем ускорителе, форсировал проектные и строительные работы. Если против сооружения в ТТЛ ускорителя на 7 Гэв серьезных возражений не было, то предложение о сооружении ускорителя на 70 Гэв встретило большое сопротивление. Против него выступили те, кого в ТТЛ называли 4 Б: Боголюбов, Блохинцев, Бурлаков (тогда ведущий работник отдела ЦК, курировавшего атомную проблему) и Борис Львович (Ванников). Алиханову при поддержке Курчатова удалось преодолеть это сопротивление, и было принято решение о сооружении под Серпуховом ускорителя протонов на 70 Гэв по проекту ИТЭФ и как филиала ИТЭФ. В дальнейшем группа Боголюбова изменила свою позицию, попыталась захватить будущий ускоритель в свои руки и преуспела в этом. Борясь с таким оборотом событий, Абрам Исаакович получил инсульт — прямо в кресле кабинета Петросьянца, председателя Комитета по атомной энергии.

А.И. Алиханов был снят с поста директора ИТЭФ в 1968 г. за то, что отказался уволить начальника математического отдела А.С. Кронрода, подписавшего письма с просьбой выпустить из психушки известного математика и правозащитника А. Есенина-Вольпина.

Та моральная атмосфера, тот высокий научный уровень, который был в ИТЭФ — это, безусловно, заслуга А.И. Алиханова. Я считаю, что ИТЭФ был уникальнейшим институтом в Советском Союзе, и если и были еще подобные институты, то может быть, один-два. И поэтому очень досадно, что в отличие от большинства других институтов, носящих имя своего основателя, ИТЭФ не носит имя А.И. Алиханова.

Я остановлюсь еще на сооружении атомных реакторов в Китае, которое проводилось при мощной поддержке Советского Союза, на основе советских проектов и в основном руками советских технических специалистов — своих в Китае тогда не было. Глава китайской ядерной программы Цянь решил начать ее с сооружения исследовательского тяжеловодного ядерного реактора. Поручение сделать проект такого реактора и послать специалистов в Китай для его строительства и пуска было дано ИТЭФ. Я получил распоряжение сделать физический расчет реактора (в расчете также участвовали Р.Г. Авалов

и Л.Б. Окунь). Для того чтобы научиться считать реакторы, в ИТЭФ приехали три китайских физика, которых я должен был обучать. Один из них был Пэн (Peng), теоретик, работавший в 30-х годах с Гайтлером. В 50-х годах он был академиком, который, главным образом, представительствовал. Другой, очевидно, был комиссаром при группе, наука его не интересовала, у него были другие задачи. И лишь третий — молодой человек по имени Хуан — оказался способным и работящим и за короткое время смог освоить эту науку. Исследовательский реактор в Китае был сооружен очень быстро — года за два — и пущен в 1957 г. В дальнейшем, когда была взорвана первая китайская атомная бомба, я сделал оценку, можно ли было на этом реакторе сделать то количество плутония, которое нужно для атомной бомбы, и пришел к отрицательному выводу. Этот реактор работает до сих пор. Одновременно с сооружением исследовательского реактора с помощью СССР строились военные реакторы для производства плутония и химические цехи для его выделения. Сверху последовало указание предоставить Китаю самые современные проекты, которые еще только осуществлялись в СССР. Физики и инженеры, которые должны были передать проекты, понимали политическую ситуацию лучше начальства. Поэтому они попытались передать более старые проекты. Однако Задикян, советник СССР по атомным делам при китайском правительстве, поймал их на этом и донес наверх. В результате была передана самая совершенная технология. Вскоре после этого произошел разрыв отношений с Китаем.

Остановлюсь еще на одной истории, интересной тем, что она проливает свет на закулисные механизмы, действовавшие в советской атомной энергетике, в частности, в ее международном аспекте.

Как известно, в Чехословакии очень плохо с энергетическими ресурсами. Все гидроресурсы — весьма незначительные — давно задействованы, и есть лишь небольшие запасы бурого угля. Но есть урановые рудники. (Сразу после войны эти рудники были взяты под контроль Советской армией, и вся добыча направлялась в СССР.) Поэтому чехословацкое правительство — это было еще при Запотоцком, вскоре после Готвальда — решило развивать в стране атомную энергетику и обратилось за помощью к Советскому Союзу. В 1957 г. в Москву приехала официальная чехословацкая правительственная делегация для переговоров о заключении договора о сооружении в ЧССР атомных электростанций с помощью Советского Союза. С советской стороны на стол переговоров были положены несколько проектов атомных электростанций: предложенные Институтом атомной энергии и работающие на обогащенном уране, и проект ИТЭФ с тяжеловодным реактором на естественном уране (Последний генетически был связан с тем реактором на цикле $^{233}U - Th$, о котором я говорил выше, но теперь это уже был реактор на естественном уране.) Напомню, что в 1957 г., при Курчатове, монополизм еще не был столь силен, конкуренция допускалась, так что

проект ИТЭФ фигурировал на конкурсе более или менее на равных с проектами ИАЭ.

Чехи выбрали проект ИТЭФ. Соображения у них были следующие. Уран у них есть свой, но диффузионных заводов для его обогащения нет. Поэтому, сооружая у себя атомные станции, работающие на обогащенном уране, они оказываются энергетически в полной зависимости от Советского Союза. Имея же АЭС, работающие на естественном уране, они рассчитывали, если не сейчас, то в будущем, добиться такого положения, когда уран с их рудников шел бы прямо на их АЭС. Конечно, предложенная ИТЭФ АЭС была более сложной конструктивно и технологически. Но это чехов не пугало — уровень промышленности в Чехословакии был довольно высоким. Более того, как мне рассказывали потом сами чехи, у них были далеко идущие планы: развить технологию и промышленность для серийного производства таких АЭС и выйти с ними на мировой рынок, где их будут покупать малые и развивающиеся страны, т.е. обеспечить себе независимую от СССР энергетику и экономику. Такой точки зрения придерживались все правительства Чехословакии до 1968 г., как ортодоксально коммунистические — Запотоцкого и Новотного, так и Дубчека.

Началась детальная разработка проекта, подготовка к сооружению, а затем и сооружение станции. Научное руководство проектом осуществлял ИТЭФ, первые годы, до своей болезни, официальным научным руководителем был А.И. Алиханов. Я руководил физическим расчетом реактора. (В те времена в ИТЭФ слово "руководить" не имело того смысла, какое оно обычно имеет сейчас. Руководить физическим расчетом означало, что человек должен был сам просчитать все, что относилось к физике реактора, или, по крайней мере, детально проверить то, что сосчитали другие.) В СССР проект реактора и АЭС делался на Металлическом заводе в Ленинграде, а также в ряде других мест. В Чехословакии работы шли в основном на заводах Шкода, где был построен специальный завод по производству АЭС. Всего Чехословакия истратила на сооружение атомной электростанции, включая проектные и исследовательские работы, 2 млрд. крон (200 млн. долл.).

Первоначально пуск станции предполагался в 1965-1966 гг., но работа шла медленно, сроки переносились, и вот, наконец, было решено окончательно сформировать программу пуска в начале 1968 г., для чего послать в Чехословакию советскую делегацию. Но тут произошли события Пражской весны, и советское руководство решило повременить и выждать. Оно ждало до тех пор, пока в Чехословакию не были введены советские войска и к власти не пришло новое просоветское правительство Штроугала. Тогда точка зрения резко изменилась — было решено форсировать пуск станции как доказательство советско-чехословацкой дружбы и того, что старший брат помогает младшему, вернувшемуся на правильную стезю. Советская делегация должна была выехать в Чехословакию в ноябре 1968 г. для переговоров и

подписания окончательной программы пуска, и было жестко сказано, что провала в работе быть не должно. Это помогло мне впервые выехать за рубеж — до того меня за границу не пускали. Руководитель пуска Н.А. Бургов заявил, что без меня, ответственного за физический расчет реактора, он не может гарантировать успех. Перед отъездом наша делегация должна была проходить инструктаж в Комитете по атомной энергии, таково было общее правило, — сначала в отделе атомных электростанций, а затем — в режимном отделе. Инструктаж в режимном отделе был совершенно необычным, я никогда не слышал ни о чем подобном. Зам. начальника отдела сказал: "Мы не можем дать вам никаких инструкций, мы сами не понимаем, что происходит и как вам себя вести. Мы надеемся на вас. Действуйте сообразно обстоятельствам. Вы — советские люди... Мы ждем от вас полезной информации по возвращении".

Переговоры происходили на заводе Шкода в Пльзене. Обстановка, в которой шло формирование программы, прямо надо сказать, доставляла мало радости. Те же люди, с которыми мы много и успешно работали до этого и с которыми у нас были дружеские отношения, когда они приезжали в Москву или когда некоторые из нас ездили в Чехословакию, теперь сидели с каменными лицами за противоположной стороной стола, все с чехословацкими флажками в петлицах пиджаков. И даже кофе во время заседаний подавался только чехословацким участникам. Как объяснили мне потом, частично такое поведение наших партнеров было связано с тем, что они боялись, боялись партийной и профсоюзной организаций, которые были очень сильны на Шкоде и занимали в то время резкую позицию против любых русских. Тем более, что обстановка в стране была очень тяжелой: на улицах, на мостовой, были гигантские надписи: "Иван, домой", на Вацлавской площади в Праге, где наши танки стреляли по парламенту и по толпе, стояли в почетном карауле молодые люди со свечами, периодически на заводах проходили забастовки протеста. И я, хотя я не только не одобрял вторжения в Чехословакию, но для меня это было тяжелейшим шоком, не скрывал того, что я думаю по этому поводу, я остро ощущал чувство и своей вины.

Тем не менее, с деловой стороны переговоры были вполне успешны. С чехословацкой стороны председательствовал К. Вагнер, высококвалифицированный инженер, руководитель чехословацкой части проекта, с нашей — Бургов и я. Программа пуска была сформулирована и подписана.

Но дальше произошло следующее. Большинство чехословацких специалистов, принимавших участие в работе, инженеров и даже среднего технического персонала были люди либеральных взглядов, сторонники Дубчека. Поэтому после прихода к власти ортодоксальных коммунистов они все были в той или иной степени репрессированы: кто снят с работы, кто переведен на низшую должность, кто исключен из партии и т.д. Тот же Вагнер, о котором я говорил, перестал быть руководителем проекта, его

перевели в консультанты[1]. Другой пример — А. Шевчик, который был председателем Атомной комиссии ЧССР. Это был очень хороший инженер и нестандартный человек. Он, будучи весьма немолодым и занимая такой пост, приехал в Москву, пришел в ИТЭФ и попросил меня прочитать ему лекции по физике реакторов. Сидел, записывал в тетрадку и решал задачи! (У нас разве бывает такое?) Шевчик тоже лишился своего поста и был переведен в консультанты. Так был снят целый слой наиболее квалифицированных специалистов. Но этого было мало. Новые, которые пришли на их место, в большинстве случаев тоже оказались недостаточно политически выдержанными, и слой сняли еще раз. (Например, в Институте ядерных исследований Атомной комиссии ЧССР в Ржеже за три года сменилось три директора.) В результате квалификация работников резко упала, что привело к ухудшению качества и замедлению темпа работ.

В то же время ЦК КПСС и правительство Чехословакии приняли решения, подчеркивающие особую важность пуска станции: она должна была стать демонстрацией помощи СССР Чехословакии. На строящуюся станцию зачастили высокопоставленные визитеры обеих стран — министры, зампред Совмина и даже сам Штроугал. Непосредственный контроль за ходом работ с советской стороны был поручен А.М. Петросьянцу — председателю Государственного Комитета по атомной энергии (ГКАЭ).

Пуск был назначен на конец 1972 г., и с осени 1972 г. на станции уже работали более 100 человек советских специалистов. Приехавший туда Петросьянц назначил точную дату начала пуска. По-видимому, эта дата была связана с какой-то датой или каким-то событием в Москве, к которому ему надо было рапортовать. Работа шла, но было ясно, что в указанный Петросьянцем срок реактор пущен не будет. И тогда Петросьянц придумал трюк. Пуск тяжеловодного реактора проводится следующим образом. В реактор загружаются урановые каналы. Затем постепенно начинает заливаться тяжелая вода. На определенном уровне воды достигается критичность реактора — начинается цепная реакция деления. Этот момент является физическим пуском реактора. Петросьянц, однако, решил объявить началом пуска момент, когда в реактор загрузят первый урановый канал. Канал загрузили, конечно, никакой цепной реакции не было, но Петросьянц немедленно рапортовал в Москву о начале пуска. (Сообщение об этом появилось и в печати.) Другой трюк был проделан, когда станцию посетил важный член чехословацкого правительства. Он знал, что при пуске в реактор заливается тяжелая вода. Поэтому ему показали, как в воронку трубы, ведущей в реактор, рабочий заливает тяжелую воду. (У меня даже есть фотография этого события.) Но на самом деле в реактор заливать воду

---

[1] Впоследствии, после "бархатной революции", К. Вагнер был главой Атомной комиссии Чехословакии.

было еще нельзя. Поэтому кран, ведущий в реактор, был перекрыт, и вода по трубе стекала этажом ниже, где другой рабочий ее собирал в ведро.

Но вот все подготовительные работы были кончены. Петросьянц назначил крайний срок уже настоящего пуска. Этот срок опять был связан с каким-то событием в Москве — то ли начинался Пленум ЦК, то ли еще что-то. Но прежде чем пускать реактор, он должен пройти опрессовку. Так как реактор охлаждается газом и его корпус находится под давлением 60 атмосфер, то необходимо предварительно проверить, что корпус это давление держит и никаких утечек нет. Это делается таким образом, что газодувки, которые при нормальной работе продувают газ через реактор, начинают работать, закачивая газ в реактор. При этом, по закону газодинамики, температура газа поднимается. Опрессовка была проведена, и установлено, что протечек газа нет. Однако реактор сильно нагрелся, причем нагрелся неравномерно и неизвестно как. Физический пуск реактора и вся большая, рассчитанная на месяц программа экспериментов, которая была запланирована, должны проводиться на холодном реакторе: только на холодном реакторе могут быть проверены все заложенные в расчет параметры. Знание их, в свою очередь, необходимо для расчета режима работы реактора на мощности. Поэтому до начала физического пуска нужно было ждать, пока реактор остынет. Реактор — это махина в 150 тонн, и ждать нужно было три дня. А срок Петросьянца подходил, он ждать уже не мог и требовал, чтобы реактор пускали немедленно, кричал, угрожал. Два дня руководитель пуска и ведущий инженер держались, понимая, что пуск при нагретом реакторе сорвет всю программу экспериментов, и вся дальнейшая эксплуатация АЭС будет идти вслепую. В конце второго дня под угрозами Петросьянца они сдались и назначали пуск на следующий день при еще не остывшем до конца реакторе.

Утром (работа начиналась в 6 утра) я приезжаю на станцию, сажусь за стол в пультовой и прошу инженеров измерить, где можно, температуру в реакторе с тем, чтобы я мог внести поправки в мои расчеты, сделанные для холодного реактора. Подходит Петросьянц и спрашивает: "Каково Ваше предсказание для критического уровня?" Я говорю: "Сейчас я ничего не могу сказать, реактор нагрет, и нагрет неравномерно. Я запросил данные о температурах с тем, чтобы внести поправки в свои расчеты". "Я так и думал, что Вы ничего не сможете сказать", — бросает Петросьянц и отходит. Через некоторое время мне приносят данные, я начинаю вычислять поправки. Снова подходит Петросьянц и спрашивает: "Ну, где предсказание?" "Я Вам дам его через полчаса", — отвечаю я. "Я знаю, что Вы сделаете, — говорит Петросьянц, — Вы дадите предсказание вот с такой ошибкой" — и он показывает руками как рыболов, рассказывающий, какую рыбу он поймал. Через полчаса я подхожу к Петросьянцу, сообщаю ему мое предсказание, ошибка составляет 3% и спрашиваю: "Как Вы считаете, Андрей Михайлович, это — вот такая ошибка?" Он вынужден признать, что это не "вот такая

ошибка". Пуск был проведен, и критический уровень совпал с моим предсказанием с точностью, значительно лучшей, чем выданная мною ошибка.

Реактор был запущен, Петросьянц отрапортовал в Москву, последовали победные реляции в прессе. Затем были проведены эксперименты, атомная станция выведена на мощность, после чего она успешно проработала несколько лет. Однако эта ситуация не устраивала наше руководство. Ему хотелось иметь ключ от чехословацкой энергетики у себя в кармане. Поэтому оно стало давить на чехословацкое правительство с тем, чтобы все последующие АЭС были на обогащенном уране, типа ВВЭР. И чехословацкое правительство уступило. Одновременно, использовав в качестве предлога два не очень существенных обстоятельства, станцию А-1 было решено закрыть и демонтировать. (Первое — это была авария на реакторе, вызванная низкой квалификацией персонала. При этой аварии не было никаких радиационных выбросов, никто не пострадал. И все свелось к необходимости заглушить один канал в реакторе (из 150). Скорее наоборот, эта авария продемонстрировала высокую стабильность и безопасность станции. Даже Славский, министр Среднего Машиностроения, узнав об этой аварии, сказал: "Если бы такое случилось на любом другом нашем реакторе, мы бы загадили полстраны, а тут — ничего". Второе — это потекли теплообменники из-за плохой сварки, опять, по-видимому, по причине низкой квалификации работников — результат тех же чисток — неприятность серьезная, но к реактору отношения не имеющая). И до сих пор вся атомная энергетика Чехии и Словакии — это АЭС типа ВВЭР.

Заканчивая обсуждение вопроса об атомных станциях, я хочу немного поговорить о проблеме их безопасности — теме № 1 при обсуждении АЭС после Чернобыля. По моему мнению, главный и неизлечимый порок станций с реакторами типа РБМК (чернобыльских) — это положительные и большие температурный и паровой коэффициенты реактивности. Это означает, что реактор, как физическая система, реагирует увеличением мощности на возрастание температуры или увеличение объема пара. И наоборот — уменьшением мощности на понижение температуры и уменьшение объема пара, т.е. принципиально нестабилен. Это кардинальный порок реактора, и связан он с тем, что замедление нейтронов происходит в графите, а охлаждается реактор водой. Избавиться от этого порока нельзя, именно по этой причине нигде больше в мире нет энергетических реакторов подобного типа.

Положительные паровой и температурный коэффициенты и стали причиной чернобыльской катастрофы. Это непосредственно видно из имеющейся записи временного хода процесса, приведшего к взрыву. Операторы должны были выйти на требуемый уровень мощности, снижая ее. Но в силу нестабильности реактора, они проскочили требуемое значение и должны были выходить снова, уже повышая мощность. И тут-то и произошел взрыв.

Конечно, были и другие побочные обстоятельства, наложившиеся на это, с моей точки зрения, главное. Устранением таких побочных обстоятельств занимаются сторонники реактора типа РБМК. По-моему мнению, любой безопасный ядерный реактор АЭС в первую очередь должен быть стабилен как физическая система, т.е. иметь отрицательный (и, желательно, достаточно большой) температурный коэффициент (и паровой коэффициент, если реактор охлаждается водой или она может вскипеть). Именно таким свойством обладают тяжеловодные реакторы на естественном или обогащенном уране типа того, о котором шла речь выше.

К сожалению, все попытки построить АЭС подобного типа в нашей стране или хотя бы провести серьезное сравнение АЭС этого типа с ВВЭР и РБМК наталкивались до сих пор на глухую стену того же монополизма. В 1974 г. после пуска АЭС А-1 в ЧССР я написал статью, в которой было дано описание параметров и результатов пуска АЭС А-1 в Чехословакии, а в конце был небольшой параграф, где проводилось сравнение тяжеловодных АЭС на естественном уране с газовым охлаждением с ВВЭР и РБМК по расходу урана на единицу производимой электроэнергии (не по проблеме безопасности, тогда бы статью уж наверняка бы запретили!). Сравнение было не в пользу ВВЭР и РБМК, несмотря на то, что для последних я взял проектные данные, не оправдавшиеся при эксплуатации. Комитет по атомной энергии в лице начальника отдела АЭС запретил мне публиковать эту статью. В официальном заключении было сказано, что статья может быть опубликована только при условии, что параграф со сравнением различных реакторов будет выброшен. Все попытки преодолеть этот запрет кончались неудачей. В конце концов, мне удалось выйти на А.П. Александрова (тогда он был Президентом Академии Наук, директором ИАЭ и председателем Научно-технического совета МСМ, т.е. главой атомной проблемы), который написал на титульном листе статьи: "Все, что написано в статье, правильно, а то, что мы строим ВВЭР и РБМК, так это по совсем другим причинам". Причины, которые имел в виду Александров, как я понимаю, состояли в том, что технологически реакторы РБМК близки к военным реакторам, и для их сооружения нужна минимальная перестройка промышленности. После этой резолюции статья была опубликована, включая злополучный параграф (см. [7]). До Чернобыля это была единственная опубликованная статья в русской специальной литературе, где ставился под *сомнение* тот факт, что РБМК и ВВЭР — лучшие АЭС.

Результат такой монополизации очень печален — сейчас в России практически прекращены все работы по созданию наиболее безопасных АЭС с реакторами на тяжелой воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. **И.И. Гуревич, Я.Б. Зельдович, И.Я. Померанчук, Ю.Б. Харитон**, Отчет Лаб. № 2, Курчатовский институт, 1946, УФН, **161** (1991), 170.

2. **А. Сахаров**, Воспоминания, Нью-Йорк, Изд-во им. Чехова, 1990.

3. **G.A .Goncharov**, Physics Today, **49** (1996), 44-61.

4. **R. Rhodes**, Dark Sun. The Making of the Hydrogen Bomb, Simon & Schuster, New-York — London, 1986.

5. **Б.Л. Иоффе**, Письма в Астрономический Журнал, **20** (1994), 1.

6. **Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон**, УФН, **23** (1940), 329.

7. **Б.Л. Иоффе**, в книге "Проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц", сборник, посвященный памяти А.И. Алиханова, Москва, Наука, 1975.

"Я НИЗВЕДЕН ДО УРОВНЯ "УЧЕНОГО РАБА..." (АТОМНЫЙ ПРОЕКТ — ЛАНДАУ — ЦК КПСС)

С.С. Илизаров

Участие Л.Д. Ландау в секретных работах по созданию ядерного оружия — тема не только практически не изученная, но и достаточно деликатная, так как не всеми гранями вписывается в общий мажорный контекст истории советского атомного проекта. Тем не менее, история будет и неточна, и переполнена лакунами, если при реконструкции большого и сложного исторического явления окажутся за строкой какие-либо значимые аспекты. В данной работе, целиком основанной на документах, в том числе впервые вводимых в научный оборот, рассматриваются не столько роль и участие выдающегося советского ученого в разработке научных основ атомного оружия, сколько его отношение к этим работам, а так же некоторые следствия этого участия для самого Л.Д. Ландау.

АКАДЕМИК ЛАНДАУ В АТОМНОМ ПРОЕКТЕ

О непосредственном участии Л.Д. Ландау в работах по созданию в СССР ядерного оружия известно до сих пор немного. Но все же имеется достаточно и прямых, и косвенных свидетельств, позволяющих говорить не только о причастности, но и значительности вклада Ландау и руководимой им группы в научную разработку проекта.

Здесь прежде всего уместно сослаться на ряд свидетельств, правда довольно лапидарных, но ценных тем, что они исходят от участников проекта. Прежде всего я хотел бы напомнить, что в недавно рассекреченных материалах разведывательной операции по, так называемому, "Допросу Нильса Бора" есть небольшая заключительная записка И.В. Курчатова. В этой записке, датированной декабрем 1945 г., последний абзац имеет определенное отношение к рассматриваемому вопросу: "Нильс Бор сделал

важное замечание, касающееся эффективности использования урана в атомной бомбе. Это замечание должно быть подвергнуто теоретическому анализу, который следует поручить профессорам ЛАНДАУ, МИГДАЛУ, и ПОМЕРАНЧУКУ" [1].

Известно высказывание Ю.Б. Харитона о том, что Курчатов сформировал две группы московских физиков, одна из которых работала под руководством Ландау [2].

Академик И.М. Халатников высказывался в том плане, что группа Ландау внесла существенный вклад в "дело", рассчитав мощность первых атомной и термоядерной бомб[1] [3].

Имеется группа воспоминаний, свидетельствующая об участии Ландау в работах в 50-е годы. Так В.И. Ритус, работавший с 1950 на объекте в группе Тамма-Сахарова, вспоминал: "Как-то меня командировали в Москву в группу Л.Д. Ландау, которая занималась численным решением математических задач, составленных нашей группой. Срочно нужны были промежуточные результаты" [4].

А.Д. Сахарову запомнилось как в середине 50-х гг. он приезжал в Институт физических проблем к Л.Д. Ландау.

Наконец, мы располагаем текстами самого Ландау, правда, несколько специфического происхождения — высказываниями ученого, подслушанными и собранными с помощью информаторов КГБ. По этим данным, в мае 1957 г. Ландау лично рассказал профессору Вайскопфу, что он принимал участие в расчетах по атомной и водородной бомбам, но в меньшей степени, чем И.Е. Тамм. А несколько ранее, в апреле 1955 г., Л.Д. Ландау и В.Л. Гинзбург приглашались к А.П. Завенягину по поводу "спецдеятельности". Министр принял его — Ландау — весьма вежливо и любезно, и он, не смотря на все внутреннее сопротивление и нежелание далее принимать участие в специальных работах, вынужден был пообещать оказывать хотя бы консультативную помощь [5].

В.И. Гольданский в своих воспоминаниях о Ландау особо выделил, как зимой 1946 г. слушал" удивительно ясные популярные лекции Дау на наиболее животрепещущую в то время тему — об атомной бомбе. Август принес с собой опалу П.Л. Капице, а тем самым и новую тематику для Дау". И чуть ниже В.И. Гольданский вновь возвращается к этой теме, напоминая, что благодаря инициативе Я.А. Смородинского советские физики-ядерщики получили замечательный подарок — "курс лекций по теории атомного ядра, прочитанный Л.Д. Ландау в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова и изданный в 1955 г. в виде книги Л.Д. Ландау и Я.А. Смородинского. Этот курс сыграл весьма большую роль в развитии советской

---

[1] На Международном симпозиуме "Наука и общество: История советского атомного проекта (40-е и 50- годы)" эта тема затрагивалась в ряде докладов (П.А. Александрова, В.Я. Гольдина, Б.Л. Иоффе, А.А. Самарского и др.).

ядерной науки как фундаментальной науки, в привлечении к ней широкого внимания физиков, работавших в других областях" [6].

Как бы дополняя этот рассказ, Я.А. Смородинский отмечал, что на курс Ландау по теории атомного ядра стекались сотни физиков из многих московских институтов [7].

В мою задачу не входит сбор всей информации об участии Л.Д. Ландау в атомном проекте. Само участие неоспоримо, равно как и весомость его вклада в общее дело. Конечно, интересно было бы, так сказать, "взвесить" этот вклад. Но это специальная тема, требующая особого рассмотрения. И все же, если иметь в виду решающую роль на многих направлениях этих работ многочисленных учеников Ландау, то диапазон и степень их совокупного вклада в разработку и создание фундамента советской ядерной технологии будут весьма велики, и в этом контексте феномен школы Ландау заслуживает специального изучения. Причем, речь может идти не только о прямых, формальных его учениках. Я приведу несколько фраз из очень авторитетного в рассматриваемом контексте источника. Я.Б. Зельдович в "Автобиографическом послесловии" (1984) писал: "Как физик-теоретик я считаю себя учеником Льва Давидовича Ландау. Хочу еще раз подчеркнуть огромную роль, которую сыграло для меня общение с Львом Давидовичем Ландау.(...) Школа, созданная Ландау, сохранилась! К школе Ландау в узком смысле можно отнести и теоретический отдел Института теоретической и экспериментальной физики АН СССР — детище И.Я. Померанчука, возглавляемое в настоящее время Л.Б. Окунем. В широком же смысле идеи и методы Ландау вместе с идеями и методами других выдающихся советских физиков ... органически вошли во всю советскую теоретическую физику" [8].

ОТНОШЕНИЕ Л.Д. ЛАНДАУ К РАБОТАМ ПО АТОМНОМУ ПРОЕКТУ

Сравнительно недавно стали достоянием гласности крайне интересные документальные свидетельства отношения Л.Д. Ландау к этим работам. Я имею в виду опубликованную в 1993 г. "Справку КГБ СССР на академика Л.Д. Ландау", составленную в 1957 г. по запросу Отдела науки ЦК КПСС. На основании этих специфических данных, впрочем весьма отрывочных, можно хотя бы в общих чертах реконструировать ситуацию в системе: "Атомный проект — Ландау".

Во-первых, участие в проекте для Ландау было до известной степени вынужденным. Во-вторых, его отношение к этим работам носило прагматический характер. В-третьих, вероятно в иных условиях он не принимал бы участия в создании ядерного оружия.

Для подтверждения высказанных положений я воспроизведу фрагменты из названной "Справки КГБ": — "Если бы не 5-й пункт (национальность), я не занимался бы спецработой, а только наукой, от которой я сейчас отстаю" [9]. Боязнь отстать от научного "марафона" — это одна сторона.

Другое и более существенное, точнее говоря, принципиального характера, положение заключалось в следующем: "Разумный человек должен стараться держаться как можно дальше от практической деятельности такого рода. Надо "употребить все силы, чтобы не войти в гущу атомных дел" [10]. Разумный человек должен, по словам Ландау, максимально самоотстраниться от задач, которые ставит перед собой государство, тем более государство, которое построено на угнетении.

Однако, отказ ученого такого масштаба, да к тому же с такой "испорченной" анкетой[1], от специальных работ в реалиях того времени был попросту невозможен. В то же время, возникшая ситуация позволяла извлекать реальные жизненные преимущества, которые делали более устойчивым и безопасным собственное положение и создавали лучшие условия для реализации своих чисто научных и педагогических работ. Он говорил: "Спецработа, которую я веду, дает мне в руки какую-то силу..." [11]. Начиная с 1952 г., Ландау стремился свести свое участие в проекте к минимуму. Более того, он по возможности уклонялся и от интересных научных проблем, если они имели какое-либо отношение к созданию ядерного оружия и, как следствие, несли на себе гриф особой секретности. Так, по свидетельству И.Н. Головина, в октябре 1950 г., то есть в самом начале работ по "проблеме МТР" (магнитного термоядерного реактора) И.В. Курчатов взял на себя привлечение теоретиков: "За несколько дней увлек этими задачами Мигдала и Будкера. Пригласил к себе Ландау. Тот признал задачу достойной внимания, но сам в решении ее участвовать отказался. Курчатов вызвал Н.Н. Боголюбова" [12].

Когда весной 1955 г. возникла потребность в более существенном участии Ландау в решении ядерных проблем, то он этому воспротивился самым решительным, насколько это было возможно, образом. В той ситуации он высказывался в довольно резких выражениях по адресу Я.Б. Зельдовича, да и с В.Л. Гинзбургом судя по "интонации" текста он был весьма строг и однозначен: "По дороге в министерство ЛАНДАУ предупредил Гинзбурга, чтобы он не вздумал заявлять о том, что Ландау ему нужен для предстоящей работы" [13].

Впрочем, для 50-х годов, с внешней стороны позиция Ландау, позиция "неучастия", не может рассматриваться как уникальная. И.Я. Померанчук, по свидетельству А.Д. Сахарова, томился на "объекте" и к своей вынужденной здесь деятельности "относился с величайшим (и совершенно искренним) презрением" [14].

Некоторых физиков-теоретиков такого уровня привлечение к специфическим работам, работам новаторским и чрезвычайно сложным, но

[1] Здесь имеется в виду и 1937/8 год, проведенный на Лубянке, и ряд других обстоятельств жизни ученого, и его почти открытое (для ушей и глаз спецслужб) неприятие социальной системы.

все же большею частью прикладного характера, тяготило. Известно к примеру, что Н.Н. Боголюбова, находившегося в "заточении" в КБ у Харитона" (выражение И.Н. Головина) совершенно не интересовали инженерные и конструкторские, а так же экспериментальные работы на "объекте" и, находясь там, большую часть времени он открыто использовал на собственные научные изыскания.

Опираться лишь на один, тем более столь специфический источник, как "Справка КГБ", не совсем корректно, тем более в такой тонкой материи, как отношение выдающегося ученого к созданию оружия массового уничтожения людей. Я думаю, что дальнейшие исследования, если они к тому же будут подкреплены раскрытием секретных документов, откроют более сложное отношение Ландау (и, кстати, не только его) к участию в этих работах и, в том числе, в плоскости моральной ответственности ученого. В любом случае, Л.Д. Ландау менее чем кого-либо другого можно обвинять в том, что его гений возрос на ниве милитаризма, как об этом сказал В.П. Астафьев, ставя этого ученого в один ряд с главными создателями советской ракетно-ядерной мощи — С.П. Королевым и А.Д. Сахаровым [15].

В последнее время довольно часто вспоминают фрагмент воспоминаний А.Д. Сахарова, в которых приведено высказывание Я.Б. Зельдовича о сравнении "морального уровня Тамма и Ландау", но при этом не обращается должного внимания на продолжение рассказа Сахарова о состоявшейся однажды доверительной беседе с Ландау. Беседа проходила не в помещении, а в саду Института физических проблем, а это Ландау делал только тогда, когда придавал беседе совершенно особое значение, зная о всегда и все-слышащих стенах. Услышанные тогда слова Ландау запомнились Сахарову навсегда:

"— Сильно не нравится мне все это. (По контексту имелось в виду ядерное оружие вообще и его участие в этих работах в частности.)

— Почему? — несколько наивно спросил я.

— Слишком много шуму.

Обычно Ландау много и охотно улыбался, обнажая свои крупные зубы. Но в этот раз он был грустен, даже печален" [16].

Осенью 1961 г. Ландау рассказывал С.С. Герштейну, что он, возмущенный нашими новыми ядерными испытаниями, начатыми после длительного моратория, буквально набросился на Я[кова] Б[орисовича Зельдовича] со словами: "Это Ваша фирма подбила правительство на новые испытания?" [17].

Как бы то ни было, но оборотной стороной причастности к строго секретным работам явилось формально обоснованное право высшим властным структурам Советского государства отказывать Ландау в возможности выезда за рубеж и длительное время ограничивать непосредственное общение

с западными учеными. Положение, в котором он оказался, сам Ландау обозначал в весьма жестких выражениях, как "положение ученого раба".

ОХОТА НА ДАУ

Ландау — прекрасный и тонкий знаток истории, обостренно наблюдавший современные ему социальные процессы, даже по легким, еще не начавшимся и потому невидимым другим движениям чутко улавливал вероятное будущее. Неслучайно его настойчивое уклонение от работ по проекту приходится на самое начало пятидесятых годов. Тогда еще секретность и связанные с этим ограничения на передвижения и контакты с иностранцами не имели для абсолютного большинства советских ученых значения, поскольку были попросту невозможны независимо от степени осведомленности в государственных тайнах. Можно предположить, что Ландау надеялся и предвидел вероятность скорых перемен. Для ученых такого уровня и такого склада характера, как Л.Д. Ландау, П.Л. Капица и им подобных, да к тому же прошедших школу у великих физиков XX века Н. Бора и Э. Резерфорда, искусственная изоляция была не просто унизительна, но в прямом смысле мучительна. И Ландау, и чуть позже Капица (после возвращения на пост директора своего института из Никологорской ссылки) все пятидесятые годы вели безуспешную борьбу за свои права на свободу передвижения.

В апреле 1953 г. Ландау по линии ВОКСа в числе других советских ученых получил приглашение на международную конференцию физиков-теоретиков, проведение которой планировалось в Токио в сентябре того же года. Отдел науки ЦК КПСС и вслед за тем Президиум АН СССР сочли нецелесообразным командирование Ландау. Мотивы: кроме "анкетных" — "ведет исследования по весьма секретной тематике" [18]. На самом же деле, сама по себе секретность не служила для ряда избранных деятелей науки преградой к выезду за рубеж.

Три года спустя, в 1956 г., Ландау так же не удалось воспользоваться приглашением и принять участие в Международном конгрессе по теоретической физике, проходившем на этот раз в Сиэтле (США). Не помогли ни его личное обращение к Н.С. Хрущеву "за указаниями и помощью в этом вопросе", ни подпись "Герой Социалистического Труда Академик Л.Д. Ландау" [19]. Мотивы — формально те же. Очевидно, именно эта "атака" Ландау на Президиум АН СССР и ЦК КПСС — единственный, кто вправе был принять положительное решение, и послужила причиной обращения тогдашнего руководителя Отдела науки ЦК КПСС В.А. Кириллина в КГБ СССР. Именно так тогда и возникла получившая широкую огласку "Справка... на академика Л.Д. Ландау".

Конечно, не только Ландау в 50-е годы не выпускали за рубеж. Но для Ландау была не только закрыта возможность загранкомандировок, его вообще

всячески старались изолировать от любого прямого контакта с иностранными учеными. Только два примера[1].

Оге Бор, будучи одним из руководителей Института теоретической физики Копенгагенского университета, обратился в октябре 1958 г. к АН СССР с просьбой принять своего молодого сотрудника, шведского физика Торлифа Эриксона для работы в Институт физических проблем и непосредственно к Л.Д. Ландау. Президиум АН СССР счел возможным удовлетворить эту просьбу. Но (!) предлагал предоставить рабочее место Эриксону не там, куда он просил, а в МГУ или Математическом институте АН СССР, и не у Л.Д. Ландау, а у Н.Н. Боголюбова. Отдел науки ЦК КПСС в своем заключении отмечал, что "настойчивое желание Т. Эриксона работать именно" там где он просил и "иметь тесный контакт с академиком Ландау Л.Д. представляется подозрительным. В Институте физических проблем ведутся совершенно секретные исследования, организуемые академиком Капицей П.Л. Академик Ландау Л.Д. проявляет антисоветские настроения, и его контакт с иностранными учеными нежелателен" [21]. Специалисты из Отдела науки предположили, что организация работы Эриксона в Москве вне Института физических проблем не исключает возможностей его постоянного общения с академиком Ландау. И потому было принято окончательное решение — "отклонить".

Другой эпизод имеет не только историко-научный, но даже по-своему краеведческий оттенок. Примерно 35 лет назад, в 1959 г. в Советском Союзе и в том числе в Дубне побывал бразильский ученый Марио Шемберг. И вот из секретной докладной записки, направленной в ЦК КПСС, мы узнаем любопытные подробности этого визита: "Оказалось невозможным ознакомить его с работой Института физических проблем АН СССР и организовать встречи с проф. Ландау и Капицей, что вызвало у Шемберга некоторую неудовлетворенность. По мнению сопровождающих делегацию, такого рода неудовольствие Шемберга могло бы и не возникнуть, если бы не излишняя несдержанность некоторых советских ученых, встречавшихся с Шомбергом и беседовавших с ним непосредственно на английском или французском языках. Так, в Институте ядерных исследований в г. Дубне Шембергу сказали о семинаре проф. Ландау, на котором не присутствовали ученые из капиталистических стран (...) Более того, проф. Иваненко Д.Д., который не может не знать особого положения Института физических проблем АН СССР, услышав о желании Шемберга посетить этот Институт, заявил, что "это не трудно сделать" и даже предлагал было дать телефон Института" [22].

---

[1] Среди многих известных случаев обращает внимание история с отказом в командировании А.И. Алиханяна в 1957 г. в США на седьмую Рочестерскую конференцию по ядерной физике высоких энергий. Не помогли ни более чем любезное приглашение профессора Р.Э. Маршака и предложенные льготные условия командирования, ни поддержка ЦК Компартии Армении. Формальной причиной послужила история с открытием варитронов, история, в которой, как известно, Ландау "потерял бдительность" (выражение А.И. Ахиезера). Определенная близость Алиханяна к группе Ландау и явилась одним из аргументов для отрицательного заключения, подготовленного сотрудниками Отдела науки ЦК КПСС Н. Глаголевым и А. Мониным [20].

И вот Д.Д. Иваненко, который многократно жаловался в ЦК КПСС на Ландау за недооценку им его работ, на сей раз был вызван в Отдел науки на беседу, где ему и был учинен "разнос" за излишнюю разговорчивость при встречах с иностранцами — "приглашался... на беседу, где ему были сделаны серьезные замечания по поводу излишних разговоров при встрече с иностранцами" [23].

* * *

Я кратко остановился только на одной линии — ограничение свободы передвижения и общения для Ландау в связи с участием в секретных работах по атомному проекту. Обнаруженные в бывшем Архиве ЦК КПСС новые материалы убедительно рисуют общее негативное, переходящее в неприязненно-агрессивное, отношение партаппарата к Ландау и его научному окружению. Постепенно, по мере погружения в не очень еще старые тексты, разрозненные фрагменты стали складываться в картину неустанной борьбы партийной бюрократии с выдающимся ученым за сферы влияния в советской фундаментальной науке; за некогда секретными текстами стали вырисовываться контуры многолетней, нигде не объявленной "охоты на Дау"[1]. Документы Отдела науки ЦК КПСС первого послесталинского десятилетия

[1] Буквально все, словно следуя поговорке "каждое лыко в строку", даже малейший промах на пути научных исканий Л.Д. Ландау или его учеников и друзей, все тщательно собиралось в Отделе науки ЦК КПСС и находило применение в этой борьбе. К примеру, публикация в 1957 г. статьи А.И. Алиханова с соавторами (Г.П. Елисеев, В.А. Любимов, Б.В. Эршлер) "Поляризация электронов при β-распаде" (в профессиональном "Журнале экспериментальной и теоретической физики"), содержавшей ошибку в расчетах, послужила поводом для заведения целого "Дела" в ЦК КПСС — с объяснениями редакторов и секретарей журнала, 1-го Отдела, а также строгого заключения Отдела науки с соответствующими указаниями по адресу Президиума АН СССР, П.Л. Капицы (редактор), Л.Д. Ландау (рецензент), Д.В. Скобельцына (члена редколлегии "Nuclear Physics"), виноватых в недостаточной апробации опубликованной статьи [24]. Новое "Дело", достигшее масштаба Всесоюзного скандала, приходится на 1958 г. и связано с публикацией в журнале "Успехи физических наук" статьи учеников Л.Д. Ландау — А.А. Абрикосова и И.М. Халатникова "Современная теория сверхпроводимости". Возникла известная коллизия с приоритетом. Характерно, что ход делу дал инициативный документ, направленный в Секретариат ЦК (Е.А. Фурцевой) тогдашним Секретарем Дубнинского ГК КПСС А. Скворцовым, по мысли которого факт публикации статьи Абрикосова-Халатникова следует рассматривать как проявление "узкогрупповых интересов", наносящий серьезный ущерб престижу советской науки. Дубнинский ГК КПСС просил ЦК компартии "принять соответствующие меры". В делах по этой истории имеется — 1) Многостраничная выписка из постановления Общего закрытого собрания парторганизации Института математики АН УССР, посланная спецпочтой; 2) Письмо, составленное от имени неназванных сотрудников Отдела теоретической физики Математического института АН СССР в ЦК КПСС за подписью Е.Ф. Мищенко — тогда секретаря парторганизации. Авторы Отдела Науки ЦК КПСС (В.А. Кириллин и А.С. Монин), подготовившие заключение по данному вопросу, не преминули особо отметить: "Абрикосов и Халатников — ученики академика Л.Д. Ландау, которые имеют ряд работ по теории сверхпроводимости, не содержащих, однако, каких-либо фундаментальных результатов. (...) авторы широко и беззастенчиво рекламируют свои работы. Дубнинский горком считает...". Президиуму Академии наук со стороны ЦК было указано и предлагалось принять меры для укрепления редколлегии журнала "УФН" [25]. Конечно наибольшее напряжение во взаимоотношениях Отдела науки ЦК КПСС и "группы физиков Тамма-Ландау" наступало в периоды выборов в Академию наук [См.: 26].

позволяют почти физически ощутить чувство боязни утратить контроль и открыто неприязненное отношение, по крайней мере части сотрудников Отдела науки к Ландау и многим близким к нему замечательным ученым-физикам. Ландау по своему был глубоко прав когда свое негативное отношение к строю определял через свое собственное место в нем: "Я низведен до уровня **ученого раба** и это все определяет..." [27 — выделено мной — С.И.]

В условиях политического кризиса 50-х годов и ослабления репрессивного давления, давление политического руководства на научную интеллигенцию, по крайней мере на ту ее часть, которая являлась носителем идеи свободы личности и либерально-демократических умонастроений, возрастало с огромной силой. Подобно мифическому Кроносу, от страха пожиравшему собственные создания, и наш партийно-административный "Сатурн" с роковой неизбежностью всеми силами боролся со своими же собственными "детьми", причем лучшими. Ситуация безусловно трагическая по своей предопределенности...

Все это вроде бы не имеет прямого отношения к истории советского атомного проекта. Но как сказать. Был бы в 70-80-е годы голос А.Д. Сахарова столь свободен и звучен, не будь он одним из главных действующих лиц в проекте?

Работа подготовлена в рамках исследовательского проекта "ЦК КПСС и АН СССР: судьбы фундаментальной науки в 1953-1964 гг.", выполняемого при поддержке РГНФ; код проекта: 96-01-00173.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГАРФ. Ф. Р-9401с/ч ("Особая папка" И.В. Сталина). Д. 102. Л. 93. Этот документ с небольшой редакционной правкой публикатора издан в журнале: Вопросы истории естествознания и техники. 1994. N 4. С. 121 122.

2. **Харитон Ю.Б.** Счастливейшие годы моей жизни // Знакомый незнакомый Зельдович (в воспоминаниях друзей, коллег, учеников). М., 1994. С. 104 — 105.

3. Интервью И.М. Халатникова, данное Г.Е. Горелику и И.В. Дорман 17 марта 1993 г. См.: Природа. 1995. N 7. С. 117.

4. **Ритус В.И.** "Если не я, то кто?" // Природа. 1990. N 8. С. 15. См. так же: Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове. М., 1996. С. 533.

5. Центр хранения современной документации (ЦХСД). Ф. 89. Оп. 18. Д.42. Л. 177 — 178. Эта справка КГБ СССР на академика Л.Д. Ландау опубликована в нескольких изданиях, в том числе мною в: Исторический архив. 1993. N 3. С. 151 — 161.

6. **Гольданский В.И.** В калейдоскопе памяти // Воспоминания о Л.Д. Ландау. М., 1988. С. 96, 99.

7. **Смородинский Я.А.** По законам памяти // Воспоминания о Л.Д. Ландау. М., 1988. С. 215.

8. **Зельдович Я.Б.** Автобиографическое послесловие // Знакомый незнакомый Зельдович (в воспоминаниях друзей, коллег, учеников). М., 1994. С. 325 — 326, 330 — 331.

9. ЦХСД. Ф. 89. Оп.18. Д. 24. Л. 177.

10. ЦХСД. Ф. 89. Оп.18. Д. 24. Л. 176.

11. ЦХСД. Ф. 89. Оп.18. Д. 24. Л. 177.

12. **Головин И.Н.** А.Д. Сахаров — основоположник исследований управляемого термоядерного синтеза в нашей стране // Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове. М., 1996. С. 261.

13. ЦХСД. Ф. 89. Оп.18. Д. 24. Л. 177.

14. **Сахаров А.Д.** Воспоминания // Знамя. 1990. N 11. С. 151.

15. Тарасов Алексей. Виктор Астафьев: Россия все-таки выбирается из лжи // Известия. 1994. 30 апреля.

16. **Сахаров А.Д.** Воспоминания // Знамя. 1990. N 11. С. 148.

17. **Герштейн С.С.** На пути к универсальному слабому взаимодействию // Знакомый незнакомый Зельдович (в воспоминаниях друзей, коллег, учеников). М.,1994. С. 175.

18. ЦХСД. Ф.5. Оп. 17. Д. 411. Л.38.

19. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д.35. Л.59. Письмо опубликовано в: Исторический архив. 1993. N 3. С. 160 — 161.

20. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д.35. Л. 123.

21. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д.70. Л. 255

22. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д. 101. Л. 59.

23. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д. 101. Л. 66.

24. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д.70. Л. 37 — 42.

25. ЦХСД. Ф. 5. Оп.35. Д.70. Л. 193 — 204.

26. **Илизаров С.С.**: — Академический июнь 1958-го // Московская правда. 1994. 19 июля; Партаппарат против Тамма // Природа. 1995. N 7. С. 118 — 123; Фундаментальная наука периода "оттепели": распознавание образа под личиной канона // Источниковедение и компаративный метод в гуманитарном знании. Тезисы докладов и сообщений научной конференции. Москва, 29 — 31 января 1996 г. М.,1996. С. 286 — 287; Ученый и власть: штрихи к истории проблемы // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 1995. М., 1996. С. 86 — 89; Год славы академика Сахарова // Московская правда. 1996. 16 мая и др.

27. ЦХСД. Ф.89. Оп. 18. Д. 42. Л.177.

О РАБОТАХ А.С. ЗАЙМОВСКОГО В НИИ-627

И.И. Десятников, Н.П. Коноплёва, С.Я. Куцаков

Член-корр. АН СССР лауреат Ленинской и 4-х Государственных премий профессор А.С. Займовский известен как один из ведущих специалистов в области металловедения. Разработанные под его руководством конструкционные и магнитные материалы, технология получения для атомных реакторов тепловыделяющих элементов, его вклад в металловедение урана, плутония, циркония, их сплавов и соединений определяют роль А.С. Займовского в становлении атомного материаловедения и атомной промышленности в СССР. Некоторые его работы приведены в трудах [1-3].

Хорошо известна деятельность А.С. Займовского в атомной промышленности, однако недостаточно освещена его работа в НИИ-627, главным металлургом которого он был с 1943 г. по 1947 г. С 1941 г. до 1944 г. институт назывался заводом-627, с 1959 г. — ВНИИ электромеханики (ВНИИЭМ).

Александр Семёнович Займовский был не только выдающимся ученым, но и широко образованным, интересным, интеллигентным человеком. Он родился 9 октября 1905 г. в Одессе в бедной еврейской семье Семёна Григорьевича Займовского, который обладал незаурядными лингвистическими способностями. На основе знания латыни и греческого языка, полученных в начальных классах, он самостоятельно изучил 14 иностранных языков. Составленные С.Г. Займовским англо-русский и русско-английский словари в своё время пользовались большой популярностью и многократно переиздавались. Высшее юридическое образование С.Г. Займовский получил в Петербурге.

Любовь к литературе А.С. Займовский унаследовал от своего отца. Он увлекался поэзией, сам писал стихи, свободно владел английским, немецким и французскими языками. По воспоминаниям знавших его людей это был

весёлый, общительный, чуткий и отзывчивый человек. Своим детям он дал имена пушкинских героев: Владимир, Евгений и Татьяна.

Исследовательский талант А.С. Займовского проявился очень рано. Уже через два года после окончания в 1928 г. Московской Горной академии А.С. Займовский создаёт и возглавляет во Всесоюзном электротехническом институте им. В.И. Ленина (ВЭИ) в Москве лабораторию магнитных, проводниковых и контактных материалов (1930 г.). В Горной академии он прошёл школу Н.П. Чижевского, М.А. Павлова, А.П. Минкевича, В.Е. Грум-Гржимайло, В.В. Старка и др. Будучи специалистом в области металловедения и термообработки и обладая блестящими организационными способностями, А.С. Займовский наладил в лаборатории исследование технологии создания постоянных магнитов, трансформаторной, динамной и специальных магнитных сталей. На основе этих работ при участии А.С. Займовского и его научном руководстве впервые в СССР было организовано промышленное производство постоянных магнитов и усовершенствованы технологические процессы производства стали и различных сплавов [4-5].

В 1933 г. А.С. Займовский в составе группы специалистов был направлен в Англию для приёмки оборудования, закупленного за валюту. В эту же группу входил ещё один молодой и талантливый сотрудник ВЭИ, ставший впоследствии одним из ведущих учёных в области электротехники, академиком и вице-президентом АН Арм. ССР, Андроник Гевондович Иосифьян. Дружба этих людей сохранилась до конца жизни и сыграла впоследствии важную роль. Именно А.Г. Иосифьяну в 1941 г. было поручено создать завод № 627 и организовать оборону определённого района столицы. Именно он стал первым директором завода № 627 и поднял этот завод, оставаясь директором в течение 33 лет, до научно-исследовательского, а затем — Всесоюзного научно-исследовательского института электромеханики с множеством филиалов по всей стране. ВЭИ в 1941 г. (и лаборатория А.С. Займовского тоже) был эвакуирован в г. Свердловск.

24 сентября 1941 г. нарком электротехнической промышленности И.Г. Кабанов подписал приказ о преобразовании бывшего завода Наркомата текстильной промышленности в завод № 627 и назначил директором завода доктора технических наук профессора А.Г. Иосифьяна ([6], с. 10). 16 октября 1941 г. началась массовая эвакуация московских предприятий. Завода № 627 не оказалось в списке подлежащих эвакуации и в ЦК партии посоветовали А.Г. Иосифьяну действовать по своему усмотрению. Завод № 627 остался в Москве и расположился у Красных ворот в Хоромном тупике в старинной усадьбе. Первый приказ по заводу был издан 29 октября 1941 г. Им было зачислено на завод 30 сотрудников. Началась организация выпуска различной продукции для фронта. Впоследствии завод № 627 стал естественным центром притяжения для многих талантливых и неординарных людей.

Одним из таких людей был главный инженер завода № 627 А.П. Казанцев, знакомый с А.Г. Иосифьяном и П.Л. Капицей ещё с 30-х годов. Поводом

для такого знакомства была проблема электроразгона снарядов, которой А.Г. Иосифьян и А.П. Казанцев занимались сначала независимо друг от друга, а с 1931 г. — вместе. Они изобретали и испытывали в ВЭИ различные модели электромагнитных пушек. Теорией электроразгона П.Л. Капица занимался ещё в свои студенческие годы. К необходимости создания мощных импульсных электромагнитных генераторов он пришёл именно в связи с этой проблемой. После выполнения ответственного задания в Австрии в 1945 г. А.П. Казанцев ушёл из НИИ-627 и полностью переключился на изобретательскую и писательскую деятельность. Много лет спустя писатель-фантаст А.П. Казанцев в своём романе "Льды возвращаются" назовёт ВНИИЭМ институтом Жюля Верна, поскольку здесь наряду с решением практических задач разрабатывались многие необычные, даже фантастические проекты. А.Ф. Иоффе, как и П.Л. Капица, хорошо знал А.Г. Иосифьяна до войны.

Приказом наркома электропромышленности от 14 июля 1942 г. директор завода № 627 Иосифьян был назначен по совместительству директором завода № 689, располагавшегося вблизи Измайлово, на Вольной улице, 30. Это было небольшое предприятие не полностью укомплектованное оборудованием, эвакуированным из Ленинграда, и влачившее жалкое существование. Но здесь предстояло организовать поточное производство многих разработок завода № 627. Эта задача была решена, и завод № 627 превратился в производственную и научную базу электротехнической промышленности. С 1 мая 1944 г. завод № 627 был преобразован в НИИ-627, а завод № 689 стал Опытным заводом № 1. Постановлением СМ от 17 августа 1959 г. НИИ-627 был переименован во ВНИИЭМ [6].

Сразу после того, как в 1942 г. было принято решение по Урановой проблеме и И.В. Курчатов по рекомендации А.Ф. Иоффе был назначен научным руководителем этой проблемы, А.Ф. Иоффе приехал на завод к А.Г. Иосифьяну [7] для того, чтобы договориться с ним о переводе из Казани, куда был эвакуирован ЛФТИ, двух своих лабораторий. Кроме того, на завод № 627 из ВЭИ был переведён А.С. Займовский вместе со своей лабораторией. С 3 января 1943 г. по декабрь 1947 г. он был начальником лаборатории и главным металлургом завода № 627 — НИИ-627. В период с 1943 г. по 1946 г. в этой лаборатории продолжались начатые до войны исследования сплавов системы железо-никель-кобальт-алюминий (альни, альнико, альниси, магнико) [6]. В частности, были созданы первые отечественные кобальтовые стали для высокомощных постоянных магнитов, новые трансформаторные стали, пермаллой и другие материалы. Кроме того, велись исследования магнитодиэлектриков.

Лаборатория, руководимая А.С. Займовским, стала ядром научных лабораторий, обеспечивающих работу опытного производства. Номенклатура разработанных в ней магнитов (статорные, роторные, призмы, бруски, кольца и прочие) составила около 300 наименований, значительная часть

из них — высокотехнологичные литые. Была разработана технология серийного производства литых магнитов из сплава типа магнико. Рогообразные магниты массой несколько килограммов использовались для магнетронных генераторов локационных установок наземного, морского и воздушного базирования.

Совместно с институтами других отраслей были созданы новые материалы и сплавы, в частности, пермендюр для телефонных мембран. В группе, входившей в состав лаборатории А.С. Займовского и возглавлявшейся проф. В.В. Усовым, были разработаны металлокерамические контакты, которые экономили дефицитное серебро, сохраняя высокую надёжность аппаратуры. Тогда же была разработана технология и создано оборудование собственной конструкции для электроэрозионной обработки металлов [6].

Магниты из сплавов альни, альнико и магнико превосходили в несколько раз хромистую, вольфрамовую и кобальтовую стали. В 1943-1944 гг. было освоено и выпущено малыми и крупными сериями до 300 тыс. магнитов.

Для обеспечения выполнения правительственных заказов по поставкам магнитов О.Б. Визенталем и Л.Л. Лавриновичем была реконструирована плавильная печь. На этой печи впоследствии были выплавлены, в частности, магниты для первого ускорителя АН СССР. До 1964 г. эта печь была лучшей в СССР [6]. За эти работы в 1946 г. А.С. Займовскому была присуждена Государственная премия. В том же году он был впервые привлечён к проблемам атомного материаловедения.

Оставаясь сотрудником НИИ-627, А.С. Займовский стал одним из научных руководителей работ по выплавке урана на заводе № 12 ПГУ. По его инициативе на заводе № 12 были установлены высококачественные плавильные печи АЯКС для промышленной рафинировки металлов. На заводе № 12 ПГУ должны были получать особо чистый уран для изготовления специальных изделий — урановых блоков для загрузки в первый промышленный уран-графитовый реактор, который строился в Челябинске-40 [8].

Другим научным руководителем работ, развернутых на заводе № 12, был в это время известный учёный-металловед А.А. Бочвар [9]. С тех пор судьбы этих людей переплелись навсегда.

В ноябре 1946 г. в одной из партий урановых блоков, отправленных для комплектации опытного реактора Ф-1, было обнаружено повышенное содержание бора. Дело дошло до Л.П. Берии, который с 20 августа 1945 г. возглавлял Спецкомитет по организации работ по созданию в стране первых промышленных предприятий, институтов и КБ для получения делящихся материалов и изготовления из них ядерного оружия. Началась сплошная и очень тщательная проверка. Виновником оказался Московский графитовый завод [9]. Но в результате в НИИ-627 произошла реорганизация, длившаяся два года (1946-1948). В 1947 г. из состава НИИ-627 было выделено СКБ-627 под руководством А.С. Займовского, а с декабря 1947 г. он становится начальником лаборатории № 13 в НИИ-9 — институте специальных мате-

риалов, созданном в 1945 г. В 1967 г. этот институт переименован во ВНИИ неорганических материалов (ВНИИНМ), а с 1984 г. носит имя академика А.А. Бочвара, который с 1952 г. по 1984 г. был директором института.

Лаборатория № 13, которой до 1952 г. руководил А.С. Займовский, сыграла большую роль в развитии атомного металловедения в нашей стране. На ее базе впоследствии были сформированы металловедческое, технологическое и твэльные направления ВНИИНМ. В лаборатории № 13 под руководством А.С. Займовского впервые были проведены исследования физико-химических свойств первых микрообразцов металлического плутония[1].

Велика роль А.С. Займовского в организации первого промышленного производства металлического плутония на комбинате "Маяк" в 1949 г. Он был в составе бригады ученых НИИ-9, в которую входили А.А. Бочвар, И.И. Черняев, А.С. Займовский, А.Н. Вольский, В.Д. Никольский и др[2].

В 1952 г. А.С. Займовский был назначен начальником отдела ВНИИНМ, в 1960 г. — заместителем директора института. В 1977 г. он ушел с этой должности и возглавил лабораторию по разработке и изучению сплавов циркония и изделий из них для атомной энергетики. В 1987 г. Александр Семенович Займовский ушел на пенсию, а в 1990 г. в возрасте 85 лет — скончался.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.С. Займовский, В.В. Калашников, И.С. Головнин.** Тепловыделяющие элементы атомных реакторов, изд. 2-е. Атомиздат, Москва, (1966).

2. **А.С. Займовский, А.В. Никулина, Н.Г. Решетников.** Циркониевые сплавы в ядерной энергетике. Энергоатомиздат, Москва, (1994).

3. **А.С. Займовский.** Циркониевые сплавы в атомной энергетике. Реакторное материаловедение. Труды конференции по реакторному материаловедению, Алушта, 1978, т.5, Атомиздат, Москва, (1978), 132.

4. Александр Семёнович Займовский (к 75-летию со дня рождения). Атомная энергия, № 10, (1980).

5. Александр Семёнович Займовский (к 70-летию со дня рождения). Изв. АН СССР, Металлы, № 5, (1975), 3.

6. Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики 1941-1991 (к 50-летию ВНИИЭМ). Из-во ВНИИЭМ, Москва, (1992).

7. Воспоминания об А.Ф. Иоффе. Наука, Ленинград, 1973, 79.

8. **А.К. Круглов, А.М. Петросьянц.** Краткие биографические данные ряда основных участников проекта в начальный период его реализации. В сб.: Создание первой советской ядерной бомбы, под ред. В.Н. Михайлова. Энергоатомиздат, Москва, (1995), 405.

9. **К.Я. Егоров, П.М. Верховых.** Завод № 12 и его вклад в решение проблем по созданию ядерной индустрии. В сб.: Создание первой советской ядерной бомбы, под ред. В.Н. Михайлова. Энергоатомиздат, Москва, (1995), 321.

---

[1] см. статью Т.С. Меньшиковой (прим. редактора).

[2] см. статью Н.И. Иванова (прим. редактора).

КАПИЦА, БЕРИЯ И БОМБА

П.Е. Рубинин

ЛЕГЕНДЫ

Имя и личность Петра Леонидовича Капицы были постоянно "окутаны" легендами. Вот две легенды, имеющие отношение к теме "Капица и атомная бомба" и которые взаимно друг друга исключают.

1

12 октября 1941 г. на антифашистском митинге ученых в Москве, в Колонном зале, Капица сказал: "Последнее время дает нам новые возможности использования внутриатомной энергии, об использовании которой писалось раньше только в фантастических романах... Мы ставим вопрос об использовании атомных бомб, которые обладают огромной разрушительной силой". Выступление Капицы было опубликовано в "Правде" и в "Вестнике АН СССР" [1]. Приведенный выше текст — из "Вестника". Он печатался по машинописной рукописи, правленой автором. В "Правде" выступления печатались по стенограмме. Приводим из "Правды" слова, которых не было в "Вестнике": "Теоретические подсчеты показывают, что если современная мощная бомба может, например, уничтожить целый квартал, то атомная бомба, даже небольшого размера, если она осуществима, с легкостью могла бы уничтожить крупный столичный город с несколькими миллионами населения".

Много лет спустя, 11 декабря 1954 г., в последние дни опалы, Капица с горечью пишет В.М. Молотову: "В этом году индусская газета "The Evening News of India" в новогоднем номере напечатала статью обо мне. В заграничной газетной статье, как всегда, немало вранья, и о ней не стоило бы и говорить, если бы не одно. В статье хвалят сделанное мною еще в самом начале войны предсказание о реальной возможности создания атомной бомбы и о том, что еще в этой войне атомные бомбы могут быть применены и "они

с легкостью будут разрушать большие города с миллионным населением". Действительно, это довольно точно совпадает со стенограммой моего выступления на антифашистском митинге ученых /.../ в Колонном зале 12 октября 1941 г., который передавался в эфир. Пишу об этом, чтобы показать, что, хотя прошло 13 лет, но даже в далекой Индии еще не забыли о моем предсказании, а у нас не только его забыли, но и тогда не обратили на него должного внимания" [16].

Выступление 1941 года, прошедшее незамеченным у нас, но хорошо запомнившееся на Западе, внезапное и полное исчезновение в августе 1946 г. имени Капицы со страниц советских газет, на которых оно так часто мелькало раньше, некоторые особенности биографии. П.Л. — любимый ученик Резерфорда, основоположника ядерной физики, 13 лет работы в Кембридже, в знаменитой Кавендишской лаборатории — вот "корни" легенды об "отце русской атомной бомбы", столь некогда популярной на Западе. Так, кстати, во Франции и озаглавили переведенную с немецкого бульварную книжонку некоего А.М. Биева, который выдавал себя за личного пилота П.Л. Капицы. Немецкий оригинал (Мюнхен, 1954) назывался еще более броско: "Kapitsa — der Atom-Zar". Английское издание (1956), озаглавленное скромно "Kapitsa", имело следующиий подзаголовок: "The Story of the British-trained scientist who invented the Russian Hydrogen Bomb" [2]. Капице эту книгу подарил его друг Дирак со следующей надписью: "To Peter Kapitza from Paul Dirac. Hoping you will get a good laugh from this nonsense" [16]. Заметим, кстати, что статья в газете "The Evening News of India" (1.1.1954), на которую ссылался Капица в своем письме к Молотову, имела весьма характерный заголовок: "Человек в бархатной тюрьме — атомный туз России". ("The man in the velvet cell — is Russia's atomic ace").

Легенда об отце русской атомной бомбы (а заодно уж и водородной!) оказалась поразительно живучей, а книжка Биева до сих пор фигурирует в некоторых солидных энциклопедиях как "источник"! (См., например, статью о П.Л. Капице в Brockhaus Enzyklopaedie, 1970). В популярном французском энциклопедическом словаре "Petit Larousse" (1974) о Капице сообщается: "Основной создатель советской термоядерной бомбы" [3].

Очень болезненно эта легенда воспринималась в Кремле. "Когда кончилась война, а кончилась война взрывом атомной бомбы Америкой, — мы отстали, — вспоминал Н.С. Хрущев. — Тогда весь мир трубил об этой атомной бомбе и о превосходстве США. /.../ А когда мы взорвали бомбу, то поднялся буквально истошный вой в буржуазной прессе, что бомбу русские получили из рук Капицы, что Капица — такой-сякой ученый-физик, что только он мог дать русским атомную бомбу. Тут Сталин возмущался и говорил, что Капица к этому абсолютно никакого отношения не имеет, что он не занимался этим вопросом"([4], с. 219).

2

Легенда "противоположная" имеет два варианта: отрицательный и положительный. Отрицательный, происхождения отечественного, был сочинен в ведомствах, которые курировал Берия. Сочинен был после ухода Капицы из Спецкомитета. Ими же и распространялся.

До сих пор приходится слышать отголоски этой легенды. Она тоже оказалась очень живучей. Пересказывают ее с нескрываемой злобой: "Капица ОТКАЗАЛСЯ работать над созданием советской атомной бомбы. Он — антипатриот. За что и понес заслуженное наказание".

Положительный вариант легенды об "отказе" Капицы участвовать в создании атомной бомбы возник в конце 1980-х, уже в годы перестройки и переоценки ценностей. "Капица не участвовал в создании атомного оружия из высших соображений, продиктованных его представлениями о долге ученого и человека, полагая, что создание бомбы приведет к тяжелым последствиям в мире", — писал публицист Юрий Рост в своей статье об А.Д.Сахарове [5].

ФАКТЫ

Что касается самого П.Л. Капицы, то в беседе с американским физиком Г.Ф. Йорком он утверждал, что его отказ от участия в создании советской атомной бомбы не был основан на мотивах политических или моральных ([6], с. 38). Уже после смерти Капицы его жена, Анна Алексеевна, отвечая на вопрос: "Петр Леонидович хлопнул дверью, чтобы вообще не участвовать в создании атомной бомбы?" сказала: "Нет-нет. Он хлопнул дверью, потому что не мог работать с Берией..." ([7], с. 196).

* * *

Весть о взрыве американской атомной бомбы над Хиросимой, по свидетельству людей, встречавшихся в те дни с Капицей, потрясла его. "Он был совершенно убит", — сказал мне его бывший заместитель по Главкислороду А.С. Федоров. По воспоминаниям Анны Алексеевны, которыми она со мной поделилась[1], Петру Леонидовичу не давала покоя мысль: зачем американцы сбросили атомную бомбу на японский город, когда Япония вот-вот должна была капитулировать? Что за этим стояло?

14 мая 1996 г. Анна Алексеевна скончалась, пережив на двенадцать лет своего мужа. В ее дневниках, которые находятся сейчас в Архиве П.Л. Капицы в Институте физических проблем, я нашел следующую запись (8.8.1985):

---

[1] С 1955 г. до кончины П.Л. Капицы в апреле 1984 г. я был его референтом. С 1985 г. — ответственный секретарь Комиссии по изучению и подготовке к печати научного, общественно-публицистического и эпистолярного наследия академика П.Л. Капицы. — П.Р.

"Интересно рассказал Сережа (С.П. Капица.- П.Р.) об атомной бомбе. Однажды он сидел с Rotblat'ом (английский физик, один из руководителей Пагуошского движения ученых за мир и разоружение. — П.Р.), и они беседовали. R. начал рассказывать о том, как совсем молодым человеком он начал работать в Los Alamos'е. Как-то его позвал к себе на вечер их начальник генерал Groves. Во время разговора о создании и испытаниях Атомной бомбы генерал сказал, что они ее взорвут над Японией, чтобы напугать русских. Это произвело такое отрицательное впечатление, что Rotblat после этого стал "борцом за мир". Так что разговоры о том, что бомба была сброшена на Японию в устрашение СССР — правда. Об этом много говорилось и раньше. Но зачем после Хиросимы еще и Нагасаки?" [16].

Я помню те разговоры в августе 45-го. Тогда мало кто в нашей стране сомневался в том, что атомные бомбы американцы сбросили на японские города для того, чтобы припугнуть нас, своих союзников, наш народ, вынесший на своих плечах основную тяжесть войны с Германией, сломивший хребет гитлеровскому режиму. Но если для многих, в том числе, несомненно, и для физиков, которые были заняты в советском атомном проекте с 1943 г., подобная мысль, пусть и горькая, не была столь уж неожиданной — империалисты, в конце концов, чего от них еще можно ждать? — то для Капицы, который 13 лет прожил в Англии и для которого союз нашей страны с "Западными Демократиями" в борьбе с фашизмом был чем-то вполне естественным (а слова "Великие Демократии" воспринимались далеко не как пропагандистский штамп, и он искренне верил в то, что мы по праву входим в число этих Демократий), взрыв атомных бомб над Хиросимой и Нагасаки был, я в этом убежден, очень сильным и болезненным ударом.

Невольно возникает вопрос, не с Хиросимы ли и началась холодная война?

Но вспомним тогда и сталинскую внешнюю политику последних месяцев войны и первого послевоенного года. Попробуем на миг почувствовать себя на месте тех, кто составлял политическую элиту западных держав антигитлеровской коалиции, когда они вдруг поняли, что Сталин готов освободить Европу не только от немцев, но и от "буржуазной" демократии. А что такое сталинский социализм и сталинская демократия, такие политики, как Черчилль и Рузвельт, знали очень хорошо.

Узнали это и те народы, которым привелось после войны пожить в странах "народной демократии", т.е. в тех самых странах, которые были освобождены Сталиным от демократии буржуазной.

Очень немногие в нашей стране понимали это в те времена. Вот почему после взрыва атомных бомб над японскими городами мало кто из советских физиков сомневался в том, что и Советскому Союзу необходимо иметь атомное оружие. За исключением, может быть, Ландау, который год отсидел в советской тюрьме. Арестовали его в апреле 1938-го за участие в составлении листовки, в которой были и такие слова: "Разрушая ради сохранения своей

власти страну, Сталин превращает ее в легкую добычу озверелого немецкого фашизма..." ([8], с. 146). Можно представить себе, как "озверели" в НКВД, прочитав эти строки, которые чуть было не стали пророческими...

О настроении Капицы после взрыва американских атомных бомб можно судить по риторическому вопросу, который много лет спустя (в 1962 г.) он задал с трибуны академического собрания: "В какое бы положение мы поставили страну, если бы мы не были подготовлены развивать хорошо известное практическое применение ядерной физики?" ([9], с. 125).

* * *

Так почему же все-таки он "хлопнул дверью"?

Петр Леонидович не раз писал и говорил, что ушел из атомного проекта из-за "невыносимого" отношения Берии к ученым ([10], с. 312). Об этом он мог судить со знанием дела, потому что *невыносимо* Берия относился прежде всего к нему самому — с первых дней их совместной работы в Спецкомитете.

За что же он так его невзлюбил?

* * *

По-видимому, здесь прежде всего сработал инстинкт самосохранения.

20 августа 1945 г. И.В. Сталин подписывает постановление Государственного комитета обороны об образовании при ГОКО Специального комитета, на который возлагается "руководство всеми работами по использованию внутриатомной энергии урана", включая "разработку и производство атомной бомбы" ([11], с. XV). Председатель Спецкомитета — Л.П. Берия. Среди 9 членов комитета всего два ученых, два физика — И.В. Курчатов и П.Л. Капица.

Возникает вопрос: кто же ввел Капицу в состав Спецкомитета, кто его рекомендовал?

Внимательное чтение писем Капицы дает сразу же вполне определенный, хотя и негативный ответ: во всяком случае, НЕ Берия.

Такой вывод можно сделать из следующих строк из письма Капицы к Сталину от 3 октября 1945 г.: "Когда он (Берия. — П.Р.) меня привлекал к работе, он просто приказал своему секретарю вызвать меня к себе..." ([10], с. 233). У Капицы уже тогда была кремлевская "вертушка", и Берии ничего не стоило позвонить ему и *лично* пригласить к себе. Вызвал он Капицу "через" секретаря, *демонстративно*, нарочито. Он ставил Капицу на место.

В то же время кто-то (но совершенно очевидно, что не Берия) с Капицей предварительно об его участии в работе Спецкомитета говорил. "Я ведь с самого начала просил, — пишет он Сталину 25 ноября 1945 г., — чтобы меня не привлекали к этому делу..." ([10], с. 246).

Кого же Капица "с самого начала просил", кто же с ним говорил об участии в атомном проекте? Причем говорил, судя по приведенным выше словам, с ведома Сталина.

Это мог быть С.В. Кафтанов, председатель Комитета по делам высшей школы, уполномоченный Государственного комитета обороны во время войны, один из организаторов советского атомного проекта, но это мог быть и Г.М. Маленков, секретарь ЦК ВКП(б) и заместитель председателя Совнаркома СССР. Второй, кстати, человек в списке членов Спецкомитета.

Маленков с первых месяцев 1944 года курировал работы Капицы по внедрению в промышленное производство его кислородных установок, по созданию в стране современной кислородной промышленности. Заметим, что до этого, с 1939 года, работу Капицы по кислороду курировал второй человек в руководстве страны — В.М. Молотов. И Капица сумел наладить с ним настолько хорошие деловые отношения, что добился с его помощью в апреле 1939 г. освобождения Ландау. Председатель Совнаркома Молотов, по-видимому, по телефону или в личном разговоре (письменных документов не обнаружено) "убедил" недавно заступившего на свой пост наркома внутренних дел Л.П. Берию освободить Ландау "на поруки академика КАПИЦЫ" ([8], с. 156).

Интересно, помнил ли Берия об этой истории, когда в августе 1945 г. был вынужден включить Капицу в состав своего Спецкомитета?

* * *

Итак, Маленков в начале 1944 г. пришел на смену Молотову в качестве куратора кислородных работ Капицы, который к этому времени уже более полутора лет руководил созданным по его предложению Главным управлением по кислороду при СНК СССР. И у Капицы с Маленковым очень быстро установились превосходные деловые отношения. Здесь я должен отметить, что из всего тогдашнего высшего партийного руководства страны Маленков *единственный* имел серьезную инженерную подготовку — он окончил электротехнический факультет МВТУ им. Э.Н. Баумана, посещал семинар академика К.А. Круга, который пригласил его в аспирантуру. И он с юных лет увлекался физикой. У них дома, вспоминают его сыновья, был хорошо оборудованный физический кабинет. И все пять томов курса физики Хвольсона ([12], с. 9, 21, 23).

При содействии Маленкова Капица добивается решающей победы в своей кислородной эпопее — 20 октября 1944 г. успешно прошел опытный пуск мощной кислородной установки в Балашихе, производительностью 1600 кг жидкого кислорода в час. 13 ноября Капица направляет Маленкову отчет об этом событии, отчет очень личный и совершенно неформальный. "Я пишу его потому, — писал Капица, — что Вы интересуетесь кислородным делом. После первого пуска Балашихи считаю для себя, что стратегически кампания за большие турбокислородные установки выиграна и в этом будущее кислородной проблемы..." ([13], с. 68).

"За успешную научную разработку нового турбинного метода получения кислорода и за создание мощной турбокислородной установки для производства жидкого кислорода" П.Л. Капице 30 апреля 1945 г. присваивается звание Героя Социалистического Труда ([14], с. 2). 19 мая "Правда" публикует статью С.В. Кафтанова "Выдающееся достижение советской науки и техники". Приводим заключительные строки этой статьи: "Создание этой установки является крупнейшим достижением советской науки и техники в годы Великой Отечественной войны и в первую очередь достижением Института физических проблем и его руководителя — крупнейшего физика нашей страны П.Л. Капицы" [15].

* * *

Таким образом, когда Сталин 20 августа 1945 г. подписал постановление об образовании Специального комитета, Берия получил в свое подчинение выдающегося ученого, инженера и организатора науки, начальника Главкислорода при СНК СССР, лауреата двух Сталинских премий (1941, 1943), Героя Социалистического Труда (тогда это отличие было еще очень редким), и прочее, и прочее... И хотя на все это Берии (как и его шефу Сталину) было в высшей степени наплевать — они же были убеждены, что это они "создают" людям "авторитет", и они же, как мы знаем, не менее заслуженных, всемирно прославленных в "лагерную пыль" превращали (вспомним путь на Голгофу Николая Ивановича Вавилова) — беда была в том (для Берии, естественно), что членом его Спецкомитета стал человек, известный своей независимостью и ничем ему лично не обязанный. К тому же имеющий обыкновение писать большие письма Сталину, о чем Берия не мог не знать. Знал он, несомненно, и о том, что Сталин письма Капицы читал.

А, может быть, Сталин и "запустил" Капицу к Берии, чтобы тому не жилось слишком вольготно? Это ведь вполне "в характере" Сталина, как мы теперь знаем. Что же касается характера Капицы, то он Сталину был хорошо известен и для этой задачи вполне подходил. Сталин получал от Капицы жалобы на самых близких своих сподвижников, в том числе и на Маленкова, кстати, — за то, что тот подолгу не принимал его по делам Главкислорода ([10], с. 210). Более того, Капица и Сталину мог сделать замечание. "Ведь на Вас-то никому не пожалуешься", — пишет он ему 14 марта 1945 г., не получив ответа на два своих письма ([10], с. 226).

Капица, несомненно, догадывался о "восточных хитростях" вождя. И не находил нужным это скрывать. 6 октября 1945 г., обращаясь к Сталину с просьбой освободить его от работы в Спецкомитете, он пишет: "Тов/арищу/ Берия будет спокойнее" (там же, с. 234)[1].

---

[1] Недавно я обнаружил среди бумаг П.Л. Капицы черновой набросок его не отправленного письма Сталину. Письмо писалось, судя по всему, вскоре после расправы. "Что кас/ается/ А/томной/ Б/омбы/, — писал Петр Леонидович, — то я не был равнодушен к этой проблеме. Но, наоборот, взял на себя самое трудное — критику, — не щадя никого" [16].

* * *

О том, с каким отвращением "принял" Берия Капицу в Спецкомитет, говорит такой маленький штришок. В постановлении о создании Спецкомитета в списке его членов лишь дважды нарушен алфавитный порядок: Г.М. Маленков поставлен вторым, сразу после Берии и "в обход" Н.А. Вознесенского. Что вполне "оправдано", поскольку строго в рамках "протокола" тех времен: Маленков был секретарем ЦК и кандидатом в члены Политбюро, а Вознесенский — "лишь" первым заместителем главы правительства. Что касается второго случая, то здесь в нарушении алфавитного порядка мы невольно ощущаем некоторую нарочитость: Курчатов поставлен впереди Капицы ([11], с.XV). И хотя "по делу" это вполне справедливо, но, может быть, стоило значение и положение И.В. Курчатова в атомном проекте выделить в этом постановлении как-то иначе? А не за счет Капицы...

* * *

Отвращением дело не ограничилось. Берия сразу же начинает искать у Капицы слабое место. Как истинный профессионал сыскного дела он знает (вернее, верит), что человека без слабого места не бывает.

"Слабым местом" Капицы оказался его турбодетандер, революционный характер этого изобретения. Разработанный П.Л. Капицей метод сжижения воздуха с помощью турбодетандера и цикла низкого давления выбивал почву из-под ног большой армии специалистов, создававших поршневые кислородные установки высокого давления. Оппоненты Капицы сгруппировались вокруг Глававтогена Наркомата тяжелого машиностроения, где продолжался выпуск старых кислородных установок.

Было у Капицы еще одно слабое место, ничуть не уступающее первому — очень острый язык. Вот история, которую мне рассказал один из старых сотрудников Главкислорода. Идет заседание Бюро Совнаркома, на котором обсуждаются дела кислородной промышленности. Выступает Капица. Ему задает вопрос нарком тяжелого машиностроения. П.Л. отвечает. Нарком не понимает. Капица отвечает более пространно и доходчиво. Тот снова не понимает. Тогда Капица говорит: "Вы не наркомтяжмаш, а наркомтяжмыш". И снова полное непонимание. И тогда под хохот присутствующих Капица объясняет: "Тяжелого мышления..."

Отметим, кстати, что сам Капица хорошо понимал, какую опасность для автора острых слов представляет его собственный "резкий язык" (выражение П.Л.), о чем свидетельствуют его письма в защиту Ландау, который, по мнению Капицы, попал в тюрьму потому, что любил "непочтительно дразнить" "важных старцев" ([10], с. 175 и 178). Петр Леонидович все понимал, как видим, но удержаться от соблазна, устоять — был не в силах...

22 августа 1945 г., т.е. два дня спустя после того, как было подписано постановление о Спецкомитете, начальник Глававтогена М.К. Суков на-

правляет Сталину письмо на 7 страницах, в котором возражает против проекта объединения своего главка с Главкислородом и подвергает резкой критике Капицу и его метод получения кислорода. Есть в этом письме и элементы политического доноса, что делает вполне вероятным предположение об *инспирированности* этого письма, о *заказном* его характере. (Мы слышим и читаем сейчас о заказных убийствах. В те времена заказными бывали и доносы).

"Система деятельности Главкислорода имеет явно капиталистический оттенок, не позволяющий развития новых идей, предложений и широкого технического обсуждения", — пишет, например, Суков. Напоминая как бы между прочим (и кому надо), что начальник Главкислорода 13 лет проработал в капиталистической Англии. Подобных намеков, кстати, не чурались в самые страшные годы высокопоставленные академики. В письме к Молотову от 10 ноября 1939 г. Капица писал: "Товарищ Кржижановский сказал обо мне тогда (в феврале 1938 г. — П.Р.), что я пропитан буржуазными взглядами, которыми я напитался за время моего пребывания за границей..." ([10], с. 180). Вернемся, однако, к Сукову. Вот что он пишет еще о Капице в своем письме-доносе: "Академик Капица в отдельных весьма важных государственных заданиях и обязательствах, которые он на себя берет, обманывает и вводит в заблуждение правительство, заведомо зная невыполнимость данных им обещаний..." ([10], с. 231).

Когда в Секретариате ЦК это письмо попадает в руки Маленкова, он, как опытный партийный аппаратчик, понимает, какая опасность грозит Капице. И посылает ему копию этого доноса! В архиве Петра Леонидовича хранится этот документ со следующей надписью помощника Маленкова: "Лично. П.Л. Капице. Суханов. 14/IX 45" [16]. Слово "Лично" дважды подчеркнуто. Когда я спросил недавно Дмитрия Николаевича Суханова, послал ли он тогда Капице копию доноса по собственному почину или сделал это по поручению секретаря ЦК, он даже, думаю, не улыбнулся (мы говорили по телефону). "Маленков предупреждал Петра Леонидовича", — сказал Суханов.

26 сентября на заседании Бюро Совнаркома, которое ведет Берия, обсуждается вопрос о передаче в систему Главкислорода предприятий автогенной промышленности. И тут Берия предает гласности письмо Сукова на имя Сталина. Зачитав несколько, по-видимому, наиболее "сочных" отрывков, он предлагает назначить Сукова заместителем Капицы ([10], с. 233). Он не ограничивается тем, что снова ставит Капицу на место, он предлагает ввести в его "команду" доносчика. На постоянной основе, в качестве одного из самых близких помощников Капицы.

28 сентября Капица был у Берии. По поводу, по-видимому, своего будущего "помощника". "Когда он решил, что пора кончать разговор, — рассказывает Капица Сталину об этой встрече, — он сунул мне руку, говоря:

"Ну, до свидания" ([10], с. 233). Как видим, Берия вновь и вновь ставит Капицу на место.

Попытки Берии поставить Капицу "на место", унизить его, сломить, вызвали со стороны Капицы резкий отпор. Нашла коса на камень, говорят в таких случаях.

Тут уместно будет напомнить, в какой резкой форме выговаривал Капица Маленкову в марте 1944 г. за тон, с которым позволяли себе говорить с ним работники аппарата ЦК.

Вот это письмо. Оно очень короткое. Привожу его полностью.

"23 марта 1944, Москва

Товарищ Маленков,

Я очень бы Вас просил дать указание работникам Вашего аппарата, тов. Иванову (секретарь Маленкова. — П.Р.) и другим о нижеследующем.

1) Подгонять меня лично в работе не надо, и я всю свою жизнь никому не позволял это. В данном случае, к тому же, это нелепо, так как я сам затеватель кислорода. Пока я их еще не обругал, но скоро не выдержу.

2) Внушите им, что я настоящий ученый, ко мне с уважением относятся культурные люди не только у нас в стране, но и всюду. Вызывать меня и обращаться, как с подчиненным, нельзя. Надо дорожить моим временем.

3) Мне думается, что работникам ЦК следует относиться к ученому с должным и искренним почтением, а не снисходительно-любезно-покровительственно, как они обычно делают. От такого обращения у меня все нутро воротит".([10], с. 213) .

Можно представить себе, как "воротило нутро" у Капицы от обращения с ним Берии.

3 октября он пишет Сталину письмо, в котором рассказывает о том, как Берия "сунул" ему руку и как предложил назначить его заместителем человека, которого, как считает Капица, "надо привлечь к ответственности за клевету". "Тут сразу возникает вопрос, — замечает Капица, — определяется ли положение гражданина в стране только его политическим весом? Ведь было время, когда рядом с императором стоял патриарх..."

В конце письма он приходит к выводу, что "быть одним из "патриархов" /.../ видно, еще рано", и просит освободить его "от всех назначений по СНК" — т.е. от работы в Главкислороде и в Спецкомитете ([10], с. 233-234).

Письмо преследует, скорее всего, цели *воспитательные*, как и многие другие письма Капицы "в Кремль". Причем воспитывает он не только Берию, но и Сталина — попутно! — тоже. И он не сжигает за собой все мосты. Он лишь ставит Берию на место. В свою очередь...

Не проходит, однако, и двух месяцев, и Капица пишет Сталину письмо, которое *воспитательным* уже не назовешь. Это письмо от 25 ноября 1945 г., широко теперь известное. Оно сделало совместную работу Капицы с Берией невозможной. Тон той части письма, в которой Капица подвергает критике основные направления работы Спецкомитета, вполне серьезный, и письмо

в этой части нуждается, на мой взгляд, в анализе специалистов — с позиций сегодняшнего дня. (Например, настойчивый призыв Капицы "идти своим путем" и создавать атомную бомбу "дешево". "Мы позабываем, — писал он, — что идти американским путем нам не по карману и долго". К нему не прислушались, а чем кончилась для нашей страны безумная атомная и ракетная гонка "на равных", мы прекрасно знаем). Когда же П.Л. пишет о Берии, о стиле и методах его руководства атомным проектом, тон письма становится *издевательским*. Капица сравнивает Лаврентия Павловича, эту жуткую фигуру сталинских времен, палача и убийцу, — с дирижером оркестра! "У тов. Берия, — сетует Капица, — основная слабость в том, что дирижер должен не только махать палочкой, но и понимать партитуру. С этим у Берия слабо".

Так и видишь ухмылку Капицы, когда он нашел это "словцо", этот очень опасный для него "образ", эту карикатуру — дирижера Берию, который махает палочкой, ни бельмеса не понимая в "партитуре"...

Не менее издевательской была и приписка, которой Капица завершил свое письмо Сталину. Приписка с намеком на основную деятельность своего атомного шефа. "Мне хотелось бы, — просит Капица, — чтобы тов. Берия познакомился с этим письмом, ведь это не донос, а полезная критика" ([10], с. 239, 243, 246-247).

Сталин просьбу Капицы выполнил. И сделал он это, несомненно, с большим удовольствием. Петр Леонидович рассказал мне однажды, как развивались события дальше: "Берия позвонил мне и сказал, что Сталин познакомил его с моим письмом. "Приезжайте, — говорит, — мне надо с вами поговорить". А я ему ответил: "Мне с вами говорить не о чем. Если вам нужно поговорить со мной, то приезжайте ко мне в институт". И он приехал, — добавил П.Л., усмехнувшись. — И привез мне в подарок великолепную тульскую двустволку... С инкрустацией. Музейная вещь..." В тот же день П.Л. показал мне эту "музейную" двустволку. Ружье действительно необыкновенно красивое. Теперь, с этой историей, оно стало уже "дважды" музейной редкостью...

Интересно, как эту историю воспринял в свое время А.Д. Сахаров, который услышал ее от И.Е. Тамма. В своих "Воспоминаниях" он пишет: "Я пытаюсь воссоздать в памяти свои ощущения от рассказа Игоря Евгеньевича. Я не помню, чтобы мне тогда показалось, что И.Е. восхищается смелостью Капицы. Игорь Евгеньевич, наоборот, сказал что-то вроде того, что "конечно, Л.П. на самом деле человек гораздо более занятой, чем Капица". Я, со своим тогдашним умонастроением, воспринял эти слова буквально как осуждение Капицы. Для меня Берия был частью государственной машины и в этом качестве, участником того, "самого важного" дела, которым мы занимались. Мне казалось само собой разумеющимся, что позиция Игоря Евгеньевича в точности такая же. Сейчас я думаю, что в словах И.Е. были некоторые ускользнувшие от меня нюансы, скрытая

ирония, быть может он немного недооценивал мою неготовность воспринимать скрытый смысл его высказывания" ([17], с. 177).

Итак, Капица, как видим, весьма бесцеремонно ставит Берию на место. И даже рассказывает об этом удивительном эпизоде своим друзьям-физикам. Не случайно же эта история становится известной Тамму...

Капица сжигает за собой все мосты. И делает это решительно и бесстрашно.

* * *

Почему он на это пошел? Только ли из-за того, что его отношения с Берией становились "все хуже и хуже", как писал он Сталину ([10], с. 246)?

Задавал себе этот вопрос и А.Д. Сахаров. Вот отрывок из его "Воспоминаний":

"В 1946 г. Капица отказался принимать участие в разработке атомного оружия, был отстранен от руководства институтом (вместо него назначили А.П. Александрова) и жил несколько лет под угрозой дальнейших неприятностей. Капица выдвигал тогда на первый план не идейные соображения, а несогласие по организационным проблемам и нежелание подчиняться людям, которых он считал ниже себя в научном отношении. Поэтому он отвечал не за антипатриотизм, а за недисциплинированность или, как говорили в аппарате Берии, за хулиганство. Я думаю, однако, что тут была не только уловка, а действительное сочетание разнородных причин, в какой комбинации — трудно сказать" ([17], с.418).

* * *

Попробуем все-таки разобраться в этом сложном "сочетании разнородных причин".

1. А что, если Капица почувствовал, что Берия воспринимает его как "человека" Маленкова?

Ведь для Берии, между прочим, он мог быть и "человеком" Молотова. И даже Сталина! А Капица знал (37-й год был у всех в памяти), что значит в нашей стране быть чьим-то "человеком" (или таковым восприниматься) в годы, когда "дерутся паны". И хотя историки утверждают, что Маленков и Берия тогда еще не "дрались", нет никаких сомнений в том, что они начали уже состязаться в борьбе за влияние на Хозяина и могли вцепиться друг другу в глотку в любой момент.

Вот положение, в котором оказался Капица — два вельможных куратора по его кислородным работам: Маленков и Берия. Первый относится к нему с большим уважением, и у них сложились очень хорошие деловые отношения. "У них были очень добрые отношения", — сказал мне помощник Маленкова Суханов. И он повторил с волнением в голосе: "Очень добрые..." Георгий Георгиевич Маленков в разговоре со мной сказал: "Из всех ученых, о

которых отец говорил дома, он с особой симпатией упоминал Петра Леонидовича". Об отношении Маленкова к Капице не мог не знать Берия. Думаю, что одного этого было вполне достаточно, чтобы Берия невзлюбил Капицу. Хотя, как мы знаем, для этого были и другие "основания". Думаю, что Капица понял, а скорее всего КОЖЕЙ ПОЧУВСТВОВАЛ, что положение, в котором он оказался, смертельно опасно. Да и было еще в этом положении что-то очень неприятное, что-то скользкое.

Думаю, что у Петра Леонидовича возникло непреодолимое желание из этого положения выйти. Любой ценой. Он и вышел. И спас себе этим жизнь. Пусть и ценой девяти лет опалы.

2. Не исключено, что письмо от 25 ноября 1945 г. преследовало и такую цель: "свалить" Берию. Однажды в разговоре со мной Петр Леонидович намекнул на это. "Я предупреждал Сталина, какую опасность представляет Берия", — сказал он. Может быть, он рассчитывал на то, что к его предупреждению прислушаются и во главе атомного проекта станет Маленков, который в ядерной "партитуре" разбирался лучше.

3. Обратим внимание на следующее место в письме Капицы к Молотову от 11 декабря 1954 г. (т.е. уже после смерти Сталина и расстрела Берии): "...В 1945 г. начался атомный период в науке. Никакого желания заниматься атомной бомбой у меня, как у ученого, нет и не было. Но если стране это нужно, то несомненно ученый должен и это делать. Поэтому я согласился на участие в наших ядерных работах, но в дальнейшем у меня произошло резкое расхождение с Берией. Я считал, что его беспринципный и делеческий подход к науке и аракчеевский режим для ученых наносят нам громадный ущерб. Я безрезультатно говорил об этом с Берией. Я написал длинное письмо товарищу Сталину, где критиковал действия Берии и говорил, что в результате такого руководства наша творческая наука захиреет..." [16].

В этом отрывке наибольший интерес для нас представляют слова: "Никакого желания заниматься атомной бомбой у меня, *как у ученого*, нет и не было". Выделенные мною слова являются ключевыми — для ученого такого масштаба, как Капица, повторять то, что было сделано американцами, было просто-напросто неинтересно. 2 апреля 1949 г., в тяжелый опальный год, Капица пишет Молотову: "Я попросил его (президента АН СССР С.И. Вавилова, — П.Р.) объяснить создавшееся положение с моей научной работой. Он мне ответил, что на меня сердятся за то, что я не захотел работать по вопросу об атомной энергии. Тут, конечно, какое-то недоразумение, так как я никогда не отказывался научно работать по вопросу об атомной энергии. Это даже очевидно из того, что вообще ученый не может не хотеть заниматься наиболее ведущей проблемой в своей области. Но дело в том, что ученые по-разному занимаются наукой. Я лично не умею заниматься воспроизведением чужих работ /.../ а неизменно ищу своих путей..." И далее П.Л. пишет: "Продолжая разговор, я сказал Вавилову, что неправда, что я не хотел работать над проблемой атомной энергии, и, как

ему известно, в институте /я/ работал над получением тяжелой воды и искал решение путем разгонки жидкого водорода при низкой температуре. /.../ После того, как меня сняли, эту работу передали моим ученикам и, по-видимому, они успешно ее завершили" [16]. Действительно, работа, о который пишет Капица, была успешно завершена в ИФП его сотрудниками и учениками [18]. В 1960 г. они были удостоены за нее Ленинской премии.

Итак, мы видим, что Капица не мог (органически!) повторять чужую работу, в данном конкретном случае — копировать американскую бомбу. "По своему складу как ученый я только могу работать в области искания новых путей", — писал он Сталину 18 декабря 1946 г. ([4], с. 424).

Именно поэтому, думаю, и не смог он сдержать восторга, когда писал в 1955 г. о создателях советской водородной бомбы: "Советским ученым первым пришла в голову гениальная мысль: процесс образования трития производить из лития не заранее в реакторах, как это делали американцы, а во время самого взрыва, за счет нейтронов, образуемых в процессе инициирующего ядерного взрыва. /.../ Кроме того, поскольку существует химическое соединение водорода с литием (гидрид лития), то отпадает усложнение, вызванное необходимостью применения жидкого водорода. Осуществление на опыте этой замечательной идеи привело к тому, что водородная бомба /.../ практически оказалась немногим дороже и не тяжелее обычной атомной бомбы, При этом сила ее взрыва может в тысячи раз превосходить силу взрыва атомной бомбы". Это из статьи "Ядерная энергия" ([19], с. 120), которую Капица писал, пользуясь сведениями из статей П. Блэкетта, опубликованных в августе 1954 г. в английском еженедельнике "New Statesman and Nation" [20].

Здесь уместно будет сказать, что Сахаровым Капица восхищался не только за его общественную деятельность, но и потому, что Андрей Дмитриевич был "отцом" советской водородной бомбы. (Говоря языком тех историков и журналистов, которые это "отцовство" приписывали Капице). Стоит здесь также напомнить, что одним из самых близких друзей Капицы был Юлий Борисович Харитон. А Яков Борисович Зельдович, чья роль в создании ядерного оружия хорошо известна, был приглашен Капицей в конце 1982 г. в свой институт на должность руководителя теоротдела, после смерти И.М. Лифшица. А вот что говорила Анна Алексеевна об отношении Капицы к И.В. Курчатову: "Петр Леонидович всегда считал, что Курчатов совершенно замечательный человек. Он умел разговаривать с нашим правительством. Он умел не только разговаривать, но умел себя поставить с ними..." ([7], с. 197).

4. Был ли Капица пацифистом? Приведенный выше отзыв о создателях советской водородной бомбы как-то не очень с пацифизмом согласуется.

И все же... 22 сентября 1955 г. Капица направляет Хрущеву копии нескольких своих писем Сталину, в том числе и оба письма с критикой Берии.

"Обращаю Ваше внимание на письмо от 25 ноября 1945 г., в котором я вторично прошу освободить меня от работы по атомной бомбе, после чего меня и освободили (21 декабря), —пишет Петр Леонидович Хрущеву. — Из этого письма совершенно ясно, что единственной причиной, заставившей меня отказаться от этой работы /было/ невыносимое отношение Берии к науке и ученым. Мне думается, что моя тогдашняя критика нашего начального хода развития атомных работ была в дальнейшем учтена и оказала пользу, так что все нарекания на меня, что я, дескать, пацифист и потому отказался от работы по атомной бомбе, ни на чем не основаны..." И далее следовала, совершенно неожиданно, очень примечательная оговорка: "Хотя я лично не вижу, почему следует вменять в вину человеку, если он по своим убеждениям отказывается делать оружие разрушения и убийства?" ([10], с. 313).

Так что атомную бомбу Капице не хотелось делать не только потому, что она была уже сделана американцами.

Он даже в Спецкомитете пытается создать для себя "мирную" нишу.

Из протокола N 7 заседания Спецкомитета от 26 октября 1945 г.:

"[Слушали]: О разработке мероприятий по использованию внутриатомной энергии в мирных целях.

[Постановили]: Поручить Техническому совету обсудить предложения Капицы П.Л. об использовании внутриатомной энергии в мирных целях, разработать план мероприятий в этой области и доложить его Спецкомитету...

Председатель Спецкомитета при СНК СССР Л. Берия" ([11], с. 12).

Когда же вопрос об освобождении Капицы от работы в Спецкомитете был решен (постановление было подписано Сталиным 21 декабря 1945 г.), Петр Леонидович 18 декабря обращается с письмом к первому заместителю председателя СНК СССР, наркому иностранных дел В.М. Молотову, в котором пишет, что ему "хотелось бы выступить, как ученому, со статьей, связанной с той ситуацией, которая сложилась в мировой науке в связи с вопросами атомной энергии, дать более объективное освещение этому вопросу". В письме излагаются тезисы этой статьи. Один из тезисов Капицы представляет для нас сейчас особый интерес. Приводим его:

"То, что происходит сейчас, когда атомную энергию расценивают первым делом как средство уничтожения людей, так же мелко и нелепо, как видеть главное значение электричества в возможности постройки электрического стула. Атомная энергия для бомб будет так же мало применяться в будущем, как электричество для электроказни" ([21], с. 60).

И тут снова, как в 1939 г., когда решалась судьба Ландау, возникает "треугольник" Капица — Молотов — Берия. Первый заместитель председателя СНК направляет письмо Капицы заместителю председателя СНК со следующей резолюцией: "Т. Берия. По-моему, можно разрешить Капице напечатать такую статью". Вспомним, что к этому времени Берия уже прочитал и глубоко прочувствовал письмо Капицы к Сталину от 25 ноября

1945 г. И уже подарил ему, скрежеща зубами, великолепное тульское ружье. Судя по первой, вполне благодушной резолюции на письме Капицы, Молотов ничего об этом жестоком конфликте не знал. Состоялся обмен мнениями между двумя заместителями председателя Совнаркома. В результате первую свою резолюцию Молотов тщательно зачеркивает и пишет: "Сообщить т. Капице по телефону, что, по-моему, лучше подождать с этим. В. Молотов. 21/XII (там же, с. 58).

Вспомним, что в "треугольнике" 1939 года верх одержали Молотов и Капица — Ландау вышел на свободу. В 1945 году победил Берия.

5. Секретность. Капица, прошедший школу Резерфорда, был абсолютным, если можно так выразиться, интернационалистом в науке. И он органически не переносил секретность и всячески с ней боролся. "Благодаря тому, что первый раз за историю науки ее результаты делаются секретными, — писал он в упомянутом выше письме к Молотову, — работа ученых поставлена в нелепое положение. Ученым, вместо того, чтобы дружно со своими коллегами за рубежом дополнять достижения друг друга, приходится в значительной степени заниматься тем, что "открывать открытое". Это самый нездоровый путь развития мировой науки и техники, который может существовать" (там же, с. 62).

Я совершенно не могу представить себе Капицу в Арзамасе-16, скажем. За колючей проволокой, рядом с лагерем заключенных, которые строили этот секретный "объект".

А вот что думала об этом Анна Алексеевна. Из ее записей о Петре Леонидовиче (март 1987 г.):

"П.Л. требовал возврата всех посаженных физиков, их оказалось уже не так много, многие умерли. П.Л. считал, что обращение Берии с людьми непозволительно. Он считал Берию бандитом, но имеющим задатки организатора. /.../ П.Л. не считал возможным работать с арестантами, потому что они все /были/ арестованы незаконно. /.../ Я помню рассказ Арцимовича, как в тайге, в окружении паровозов, арестанты строили что-то для атомщиков. Это было исключено для П.Л. Я думаю, что это было главным, почему он не шел к Берии" [16].

6. Запись Анны Алексеевны наводит на мысль, что, может быть, главной из тех "разнородных причин", которые привели к выходу Капицы из советского атомного проекта, была все-таки полная несовместимость двух диаметрально противоположных типов человеческой личности, которых судьба вдруг свела вместе для совместной работы: *творца* — свободного, веселого и озорного и *управленца-терминатора* — свирепого и озабоченного. Причем, творец в нашем случае находится в подчинении у терминатора. И хотя так чаще всего, по-видимому, и бывает, но тут случай был особенно выразительный. Здесь история и судьба поставили "эксперимент" необыкновенной чистоты.

Здесь и творец фантастически продуктивный, и управленец-терминатор "вселенского" масштаба, не менее "значительный", чем Карл Эйхман, который тоже, как мы знаем, был не без "задатков организатора".

Посмотрим теперь, что было у них на счету. У Капицы: сильные магнитные поля, Мондовская лаборатория в Кембридже, новый гелиевый ожижитель, Институт физических проблем в Москве, сверхтекучесть, спасение в годы террора В.А. Фока и Л.Д. Ландау, кислород для страны в военные годы... У Берии: расстрел тысяч пленных польских офицеров в Катыни, высылка в Сибирь и Казахстан целых народов — чеченцев, ингушей, калмыков, крымских татар, карачаевцев, балкарцев... Гибель миллионов, превращенных в "лагерную пыль" (его любимое выражение)...

Сталин знал, кому поручить руководящую роль в деле созидания отечественного оружия МАССОВОГО УНИЧТОЖЕНИЯ. Не менее символичным в этой истории и то, что отказался работать над этой задачей под руководством терминатора человек, который в годы войны обеспечил страну КИСЛОРОДОМ!

Абсолютно чистым поставленный историей эксперимент делает прежде всего то обстоятельство, что Капица был совершенно лишен страха. "Меня не так-то легко запугать, — писал он жене 14 марта 1935 г. — Я боюсь только одной вещи — ...это щекотки" [16]. Перед начальством Капица не трепетал никогда. Вот и не стал он спускать Берии его выходок, его хамства. А был бы страх, вполне, кстати, естественный, и чистота эксперимента была бы нарушена. Более осторожный или, скорее, более *советский* человек, поступил бы иначе. Был бы более терпимым, что ли. Более покладистым. Но Капица ни тогда, ни позже до конца советским не был. Он еще в феврале 1935 г. писал жене в Кембридж: "Я чувствую, что я совсем отошел от этой психологии — "велено, так слушайся". Независимая жизнь в продолжении 13 лет сказывается, и все запугивания /.../ не могут меня разубедить в моей правоте" [16].

Может быть, сказалось здесь и отсутствие энтузиазма у Капицы. Ну не хотелось ему делать Бомбу, это же видно из тех его высказываний, которые мы уже привели. Создается даже впечатление, что он в какой-то степени *воспользовался* своим конфликтом с Берией, чтобы "выйти из игры", что он этот конфликт *обострял*, вместо того, чтобы его сгладить. Как попытался бы, наверное, сделать, если бы дорожил своим участием в атомном проекте. Хотя, надо признать, Капица всегда придерживался правила: конфликты не сглаживать, не замазывать — а обострять. Острием против острия, как говорил Мао Цзедун.

Отсутствие энтузиазма у Капицы объясняется, мне кажется, и тем, что у него не было той настороженности и почти биологической враждебности к капиталистическому Западу, которые крепко въелись в поры всех истинно советских людей. Сказывалась, несомненно, все та же "независимая жизнь в продолжении 13 лет". Независимая жизнь в Англии...

Было еще одно "несоответствие" и тоже, по-видимому, очень существенное. "Прикладная" ядерная физика — это огромные секретные институты, конструкторские бюро и предприятия, так называемые "почтовые ящики". А Капица, по характеру своему, как это ни покажется странным, был экспериментатором-одиночкой, ученым старых времен, времен физики "сургуча и веревочки". А странно это потому, что сам он, своими сильными магнитными полями, способствовал переходу знаменитой Кавендишской лаборатории из этих старых добрых времен в эпоху "индустриальной" физики, физики больших машин. Что было отмечено Д. Шенбергом в его превосходной научной биографии Капицы ([22], с. 332).

Вот очень характерная сценка, запечатленная Ю.Б. Харитоном, который многие годы был научным руководителем самого, наверное, большого нашего ядерного "почтового ящика". В середине 40-х годов, зайдя однажды в Институт физических проблем, он застал П.Л. за чертежной доской. Он делал чертеж газовой задвижки для одной из своих ожижительных установок. "Я спросил у него, — вспоминает Харитон, — зачем он делает чертеж задвижки, ведь это может сделать любой грамотный инженер". "Сделать-то он сделает, — ответил Петр Леонидович, — но я сделаю лучше" ([4], с. 54). Со своими огромными промышленными установками, им же и созданными, Капица работал так же, как его предшественники работали с сургучом и веревочкой. "Только когда работаешь в лаборатории сам, своими руками проводишь эксперименты, пускай часто даже в самой рутинной их части, только при этом условии можно добиться настоящих результатов в науке, — говорил он в 1943 г. — Чужими руками хорошей работы не сделаешь. Человек, который отдает несколько десятков минут для того, чтобы руководить научной работой, не может быть большим ученым" ([23], с. 135).

Проходит полтора десятка лет и Капица коренным образом меняет свое отношение к роли ученого-организатора, руководителя крупного научного проекта. В докладе "Будущее науки", прочитанном в Праге на семинаре по планированию науки, он говорит: "...Сейчас наступает такой период развития науки, когда организаторам науки будет отводиться все более и более крупная роль". Это было сказано уже тогда, когда в полной мере проявился талант таких великих организаторов науки, как И.В. Курчатов и С.П. Королев. Да и сам Капица в течение нескольких лет очень успешно поработал в качестве организатора и руководителя одного из первых в нашей стране научно-производственных объединений — Главкислорода. "Не знаю, — говорил Капица в том же докладе, — почему руководитель такого великолепного достижения в науке, как пуск первого спутника, не достоин Нобелевской премии, хотя, может быть, лично он и не выполнял научной работы, связанной с подготовкой этого уникального опыта. Разве он не организовал его?" ([23], с. 397).

Обратим внимание на то, что Капица имени Королева в своем докладе не называет. Оно было тогда (и до самой кончины Сергея Павловича в

1966 г.) СЕКРЕТНЫМ, и Капица эту государственную тайну разглашать не имел права. Анонимность научного подвига Королева Петр Леонидович, я это знаю из разговоров с ним, переживал очень болезненно.

Вот два высказывания Капицы, которые говорят о его отношении к анонимности в науке. Из письма к Сталину от 13 апреля 1945 г.: "В научной работе мне удалось удовлетворительно проявить себя и получить признание, которое полезно для энтузиазма в работе "([10], с. 229). Из его отчета за 1953 год: "Благодаря секретности наш ученый даже лишен удовлетворения установить свой идейный приоритет в нахождении новых путей в науке" ([24], с. 1274). А вот отрывок из воспоминаний Н.С. Хрущева, в котором, со скидкой на шутливую манеру разговора Капицы, рассчитанную на собеседника, у которого с чувством юмора полный порядок, каковым, к сожалению, Никита Сергеевич не оказался, мне слышится голос П.Л.: "Я у него спросил: "Почему вы, товарищ Капица, не возьмете тему оборонного значения? Мы сейчас в этом нуждаемся". Он довольно пространно мне объяснил свое отношение к военной тематике. Насколько я помню, а основы я хорошо помню, он мне так говорил: "Я не люблю заниматься военной тематикой. Я — ученый, а ученые подобны артистам. Они любят, чтобы об их работе говорили, показывали в кино, писали в газетах и прочее. Военная тематика — это секретная тематика. Если заниматься военной тематикой, это значит похоронить себя в стенах института, в котором ты работаешь. И фамилия тоже исчезнет из печати. Я не люблю этого. Я хочу быть знаменитым. Я хочу, чтобы о моей работе писали" ([4], с. 219-220).

Этот разговор состоялся в феврале 1958 г., когда Капица уже три года как снова был директором основанного им Института физических проблем. После девяти лет опалы, когда о нем писали только на Западе, и зачастую полный бред — вроде упомянутой нами книжки Биева.

Приведу теперь совершенно, на мой взгляд, неопровержимое *доказательство от противного* "прирожденного" и непреодолимого отвращения Капицы к работе в огромном сверхсекретном "почтовом ящике" — он с *наслаждением* работал в своей "Избе физических проблем" на Николиной Горе в годы опалы! Первые несколько лет ему помогали лишь члены семьи — жена и оба сына, Сергей и Андрей. В 1950 г. власти разрешили приезжать на Николину Гору его ассистенту С.И. Филимонову. А в 1952 г. в "ИФП" на Николиной Горе стала работать Л.М. Данилова. Когда в 1964 г. ей исполнилось 50 лет, Капица послал Лидии Михайловне поздравительное письмо, в котором были такие строки: "Я уверен, что не ошибусь, если скажу, что нигде в мире не было подобной физической лаборатории, какая была у нас тогда на Николиной Горе. Несмотря на скромное оборудование, небольшое количество кадров и на ту хату, в которой помещалась наша лаборатория, мне нигде так хорошо и плодотворно не работалось, как в этих необычайных условиях" ([4], с. 449).

* * *

Я привел несколько "разнородных причин", которые, как мне кажется, привели к выходу Капицы из советского атомного проекта. Не сомневаюсь, что были и другие. Ведь Капица — личность очень яркая, глубокая и сложная. Что касается "комбинации", в какой эти "причины" действовали, то, боюсь, мне придется повторить слова А.Д. Сахарова: "Трудно сказать".

ЛИТЕРАТУРА

1. Антифашистский митинг ученых // ВАН. 1941. N 9-10. С.9-10; Правда. 1941. 13 окт. N 284. С. 3.
2. **Biew A.M.** Kapitza. Der Atom-Zar. Muenchen. Verlag Pohl und Co. 1954; Biew A.M. Kapitza, pure de la bombe atomique russe. Paris. Pierre Horay. 1955; Biew A.M. Kapitsa. The Story of the British-trained scientist who invented the Russian Hydrogen Bomb. London. Frederick Muller Ltd. 1956.
3. Petit Larousse en couleurs. Librairie Larousse. 1974.
4. Петр Леонидович Капица: Воспоминания. Письма. Документы. М.: Наука. 1994.
5. **Рост Ю.** Академик // Литературная газета. 1988. 16 ноября. С. 12.
6. **York H.F.** The Advisors. Stanford. Stanford University Press. 1989.
7. **Зотиков И.** Три дома Петра Капицы // Новый мир. 1995. N 7. С. 173-212.
8. Лев Ландау: год в тюрьме // Известия ЦК КПСС. 1991. N 3.
9. **Рубинин П.Е.** Завершающий бой с философами // Природа. 1995. N 7.
10. **Капица П.Л.** Письма о науке. М.: Московский рабочий. 1989.
11. К истории мирного использования атомной энергии в СССР. 1944-1951. (Документы и материалы). Обнинск. ГНЦ-ФЭИ. 1994.
12. **Маленков А.Г.** О моем отце Георгии Маленкове. М.: НТЦ "Техноэкос".
13. Отчет академика П.Л. Капицы секретарю ЦК ВКП/б/ Г.М. Маленкову...// Химия и жизнь. 1994. N 7.
14. Правда. 1945. 1 мая.
15. Правда. 1945. 19 мая.
16. Архив П.Л. Капицы в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН.
17. **Сахаров А.** Воспоминания. В двух томах. Том 1. М.: Изд. "Права человека". 1996.
18. **Малков М.П., Данилов И.Б., Зельдович А.Г., Фрадков А.Б.** Выделение дейтерия из водорода методом глубокого охлаждения. М.: Госатомиздат. 1961.
19. "Публиковать нецелесообразно". Статья П.Л. Капицы "Ядерная энергия", запрещенная ЦК КПСС к изданию. 1955 г. Публикация С.С. Илизарова // Исторический архив. 1994. N 6.
20. **Blackett P.M.S.** British Policy and the H-Bomb — II // The New Statesman and Nation. 1954. August 21. V. 48. N 1224.
21. П.Л. Капица: письмо Молотову // Вестник МИД СССР. 1990. N 10. 31 мая.
22. **Shoenberg D.** Piotr Leonidovich Kapitza. 1894-1984 // Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Vol. 31. London. 1985.
23. **Капица П.Л.** Эксперимент. Теория. Практика, 4-е изд. М.: Наука. 1987.
24. **Капица П.Л.** Отчеты о научной деятельности за 1946-1955 гг.// УФН. 1994. Том 164. N 12.

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ ОБНИНСКЕ

Р.Г. Позе

ВВЕДЕНИЕ

К концу войны Гейнц Позе был известен своими экспериментальными работами по ядерной физике. Приведём наиболее важные на наш взгляд работы:

- О дискретных группах длины пробега Н-частиц из алюминия [1]
- Эмиссия нейтронов ядром урана вследствие его спонтанного деления [2]
- Спонтанная нейтронная эмиссия урана и тория [3].

Во время войны он участвовал в немецком урановом проекте. Выделим здесь работу, проведённую вместе с Е. Рексером:

- Опыты с различным геометрическим расположением окиси урана и парафина [4].

В послевоенной Германии не представлялась возможность продолжать научные исследования в области ядерной физики, а с другой стороны, США и Советский Союз из разных побуждений искали участников немецкого уранового проекта и предлагали им работу в своих странах. Необходимо было выбирать, куда пойти, и Гейнц Позе принял приглашение на научную работу в Советском Союзе.

Уместно здесь отметить, что для Гейнца Позе Россия, в противовес многим другим немцам того времени, не представлялась некой дикой и мало цивилизованной страной. Семья Позе в течение столетий жила в восточной и западной Пруссии, отец Гейнца Позе был известный купец и присяжный эксперт по зерновым в Кёнигсберге. Вследствие этого, и будучи воспитан в духе лучших немецких традиций культуры, гуманизма и философии, он прекрасно знал культурные достижения России, русскую литературу и, особенно, классическую русскую музыку. Родной дядя Гейнца Позе, между прочим, был известный немецкий славист Рейнгольд Траутманн. Конечно, то же самое касалось и научных достижений России. Так, например, ещё до войны Гейнц Позе вёл интенсивную научную переписку с Г.А. Га-

мовым и датским физиком-теоретиком Г. Беком, который был в течение нескольких лет профессором Одесского университета. Поэтому наряду со всеми острыми и актуальными проблемами того времени, им несомненно двигал и интерес поближе познакомиться с Россией.

Итак, 18 февраля 1946 года семья Позе переехала в Советский Союз и сначала остановилась в Озёрах, вблизи Одинцово, на бывшей даче Ягоды. Г. Позе 5 марта вместе с генералом Кравченко и двумя офицерами вернулся в Германию, чтобы набрать группу сотрудников, необходимых для будущей работы.

СОЗДАНИЕ ИНСТИТУТА

В течение 6 месяцев Гейнц Позе вместе с майором Качкачяном ездил по советской зоне Германии для поиска и подбора будущих сотрудников и приобретения необходимого для создаваемого института оборудования. В это время Гейнц Позе вёл довольно подробный дневник, по которому удалось восстановить эти события. Одновременно с этим Гейнц Позе интенсивно работает над планом будущего института, обсуждает его с будущими сотрудниками и советскими офицерами:

Выписки из дневника Г. Позе

16.03. — работа над планом Института

17.03. — работа над планом Института, оклады

20.03. — Сименс, АЭГ, завод Мансфельд

05.04. — совещание руководителей лабораторий

06.04. — Рецензия проекта доктора Г. "Фантастическая чепуха" проекта атомной бомбы

08.04. — работа над планом мастерских

11.04. — работа над списками приборов

16.04. — списки приборов для Цейсс и Шотт Иена

29.04. — Цвениц, шлейфовые осциллографы

17.08. — отлёт в Москву

20.08. — переезд в Обнинское

Институт, который создавался в Обнинском в соответствии с планом, сформулированном в Лейпциге и подтверждённом в переговорах с генерал-майором Кравченко, получил название лаборатории "В". Основной задачей лаборатории "В" была разработка котла на уране, обогащённом изотопом урана 235, с применением в качестве тормозящей среды обыкновенной воды. Работы института планировались с большим размахом в 16 лабораториях. Из них сначала намечалось организовать 8 и лабораторию для работ по ядерной химии. В качестве руководителей лабораторий были предусмотрены следующие немецкие учёные:

- Г. Позе — ядерные процессы
- Чулиус — урановые машины
- Германн — специальные вопросы ядерного распада

- Вестмайер — систематика ядерных реакций
- К.-Ф. Вайсс — естественная и искусственная радиоактивность
- Шмидт — методика ядерных измерений
- Е. Рексер — прикладная ядерная физика
- Г.-Ю. Фон Эрцен — циклотрон и высокое напряжение

Конечно, не всё было реализовано так, как оно планировалось. Например, Гейнц Позе неоднократно обращался к высшему руководству о назначении на должности части предусмотренных руководителей лабораторий и т.д. Не хватало квалифицированного научно-технического персонала. Были сильные задержки в поставке измерительных приборов и инструментов для работы.

На этом месте просто хочется констатировать, что основной задачей группы немецких физиков, а для работы было подобрано около 40 соответствующих специалистов, была широкомасштабная научно-исследовательская экспериментальная и теоретическая деятельность вокруг проблемы создания уранового котла. Гейнц Позе с 1946 по 1949 гг. был научным руководителем этой т.н. лаборатории "В", которая постепенно пополнялась учёными и молодыми специалистами из институтов и ВУЗов Советского Союза. Позже лаборатория была переименована в Физико-энергетический институт. Сотрудничество между немецкими и советскими коллегами в тех случаях, где оно разрешалось или было просто необходимо, было весьма хорошим. Бывшие советские сотрудники Гейнца Позе в поздравлении к его шестидесятилетию, например, писали: *"Мы многому научились у Вас и, как физики, многим обязаны Вам, высоко ценим Ваш личный вклад в ядерную физику и тот заряд физической энергии, которым Вы нас обеспечили на многие годы"*.

Работы, выполненные немецкими учёными в лаборатории "В", в виде различных отчётов находятся в архиве Физико-энергетического института в Обнинске. Автору известны лишь следующие, опубликованные труды по материалам работ в Обнинске:

- Х.Р. Позе и Н.П. Глазков: Неупругое рассеяние фотонейтронов с энергиями 0,3, 0,77 и 1,0 МэВ [5] и
- К.-Ф. Вайсс: Радиоактивные стандартные препараты. Свойства, изготовление и измерение активности. Физматгиз, Москва 1958, 244 стр. [6].

ЖИЗНЬ НЕМЕЦКОГО КОЛЛЕКТИВА

В 1946 году, когда немецкие специалисты приехали в Обнинское, там стояли два больших каменных и несколько деревянных домов. В большем из них расположилась лаборатория, а меньший стал первым приютом для семей немецких сотрудников. Вскоре появились т.н. финские дома и началось строительство новых, трёхэтажных зданий. Кругом были леса, поля, луга и речка Протва. В лесу летом и осенью было обилие грибов и лесных ягод, которыми мы все пользовались. В 1948 году "объект" был окружён забором, и впредь выходить нам разрешалось только с "сопровождающим".

Для детей это время и эти условия были весьма хорошие, по крайней мере во многом лучше, чем в то время было в послевоенной Германии. Мы тогда не знали голода, нас хорошо кормили и одевали. Мы могли играть, ходить в лес за ягодами и грибами, купаться в Протве, ходить в походы с ночёвками и т.д. После закрытия объекта эти условия, конечно, существенно сузились, но дети это как-то не очень сильно почувствовали. Мы больше сожалели о том, что фактически не было контакта с русскими школьными товарищами вне школы.

Совершенно иной эта ситуация, естественно, представлялась взрослым. Мужчины довольно напряжённо работали, рассказывать дома о работе запрещалось. Жизнь женщин протекала довольно монотонно. Кроме редких поездок в Москву или в Малоярославец на рынок не было никаких развлечений. Свобода передвижения дополнительно была ограничена забором. Из года в год затягивалось подписание трудового договора, так что не было и ясности о сроках пребывания в России. Необходимо тоже отметить, что вообще условия жизни во многом были существенно более примитивны, чем те, к которым они привыкли в Германии. Всё это приводило, конечно, к проблемам физического и психического стресса, который разные люди почувствовали по разному. Но, нужно сказать, что особенно критических ситуаций не было, либо они в каждом случае, с помощью опекающих служб, были разрешены успешно. Самыми острыми случаями были, по-видимому, арест и заключение двух сотрудников, протестовавших против закрытия забора — Ренкера и Риве. Только впоследствии автор узнал о том, что среди немецких сотрудников были завербованные МВД для наблюдения за коллегами и доносов на них.

Из докладных записок Гейнца Позе явствует, что долго не решалась проблема школьного обучения для детей немецких специалистов. За это дело взялись наши родители сами. Благо, что среди них были профессиональные учителя, жёны Бургтардта и Вайсса, г. Иоахим (военнопленный). Наряду с математикой, немецким языком и немецкой литературой, географией и английским языком, нас ознакомили с основами латинского языка и стенографии. Желающие проходили вводный теоретический и практический курс по фотографии у доктора Вестмейер, механики Цахер и Гофманн ознакомили мальчиков с основами точной механики, токарного и слесарного дела. Навыки, полученные мною у этих высококвалифицированных механиков, помогали мне в течение всей моей жизни. Наконец-то в Обнинске поселились две учительницы из приволжских немцев, хорошо знавшие немецкий язык, которые постепенно ввели нас в программу советской средней школы. Постепенно всё большее число предметов нам стали преподавать на русском языке. Начиная с 8-го класса, мы полностью перешли в школу им. Шацкого, и в 1952 году первые из нас сдавали экзамены на аттестат зрелости вместе с русскими одноклассниками. Дети

помоложе нас попозже сразу поступали в советскую школу без такого переходного периода.

Вследствие изоляции и строгого режима закрытости немецкая группа естественным образом замыкалась на себе, и постепенно образовался образ жизни в группе, близкий по стилю к немецким малым городам. Были организованы различные кружки:

- хор взрослых и детский хор
- литературный кружок
- христианская религия для детей
- танцевальный и ритмический кружок для девочек и др.

Фон Эрцен, Вайсс, Рексер, Позе имели большие библиотеки, которыми все пользовались. Мне врезалась в память богатая литературой для молодёжи библиотека фон Эрцена, в которой мы находили более или менее все стандартные для того времени произведения научно-популярной, авантюристической, детективной и утопической литературы.

Большое место в проведении досуга занимала классическая музыка, Рексер, фон Эрцен, Позе хорошо играли на фортепиано. Вайсс играл на виолончели. Жена Вайсса была преподавательница музыки. У неё мы все научились пению, некоторые из нас игре на фортепиано, скрипке, флейте. Образовался небольшой камерный оркестр. Наряду с уроками по религии, она организовала хоры взрослых и детей, накануне рождества — инсценировку легенды о Рождестве Христовом, а также инсценировку ораторий Баха, Гайдна, Генделя.

Жена фон Эрцена организовала гимнастику и летние спортивные игры для детей. По инициативе немецких энтузиастов, под зорким их надзором и активном участии были сооружены теннисные корты, которые вскоре стали пользоваться огромным спросом, так что приходилось составлять расписание на каждый день. Они до сих пор сохранились в Обнинске. Учителями молодёжи здесь были Вернер Позе (военнопленный) и фон Эрцен. Рексер, который жил в доме по соседству с кортом и сам был отличным альпинистом и горнолыжником, был частым наблюдателем наших игр и вскоре стал нашим "ведущим теоретиком" этого вида спорта. Зимой корты заливались водой и превращались в катки. Если я правильно помню, то молодой Маталин-Слуцкий очаровал наших девочек своим искусным катанием на коньках.

В 1952 году немецкая группа закончила свою работу в Обнинске и была переведена в Сухуми. Оттуда они, примерно два года спустя, возвращались в Германию. Гейнц Позе с семьёй по собственному желанию остался в Обнинске и в 1955 году по приглашению директора Лаборатории ядерных проблем АН СССР М.Г. Мещерякова перешёл на работу в этот институт.

Старшие из детей немецких специалистов, которые в 1952 году закончили школу, поступили в советские университеты в Саратове, Минске и Ростове-на-Дону.

ВОЗВРАЩЕНИЕ В ГЕРМАНИЮ

В 1955 году группа немецких специалистов, отбыв два года в Сухуми, вернулась в Германию. Часть из них уехала в ФРГ, об их дальнейшей судьбе автору мало известно, а часть поселилась в ГДР. Здесь они в основном сгруппировались в Дрездене, Лейпциге и Берлине.

Проф. К.-Ф. Вайсс в Лейпциге организовал институт, который впоследствии стал Центральным институтом радиоактивных изотопов и радиации АН ГДР. Его заместителем стал проф. Германн. В институте поработали Бургтардт, впоследствии тоже профессор, Ренкер и др.

Проф. Е. Рексер в Дрездене организовал институт, который затем стал Центральным институтом исследования материалов АН ГДР. В нём поработал доктор Г. Вадевиц.

Некоторые участники немецкой группы в Дрездене нашли работу в институте М. Фон Арденне, например, Вестмайер и Раквиц, другие поработали в конструкторском бюро самолётостроения, например, Цахер.

Гейнц Позе вернулся в ГДР в 1959 году. В Техническом университете Дрездена он сначала стал заведующим кафедрой нейтронной физики реакторов на факультете ядерной техники и деканом этого факультета. После закрытия этого факультета в 1962 г. он стал заведующим кафедрой экспериментальной ядерной физики и директором института ядерной физики факультета математики и естественных наук.

Таким образом, можно утверждать, что для большинства немецких специалистов, поработавших в Обнинске в 1946 — 1952 гг., эти годы не были потеряны, а наоборот, они послужили хорошей основой для устройства новой жизни в новой послевоенной Германии.

СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ

Шесть и более лет, проведённых в другой стране, не могли не оказать существенное влияние на судьбы детей специалистов, поработавших в Обнинске.

Ниже приводится справка о тех, с которыми автор поддерживает связь:

Вайсс Корнелиус: доктор химических наук, профессор, ректор Университета, Лейпциг

Вайсс Клеменс: доктор медицины, главный хирург клиники, Лейпциг

Вайсс Беттина: филолог, жена физика Г. Герца, тоже побывавшего с отцом в СССР, Берлин

фон Эрцен Вольфрам: доктор естественных наук, профессор, Институт им. Гана-Мейтнер и Свободный Университет, Берлин

фон Эрцен Андреа: переводчица

Рексер Юрген: доктор химических наук, промышленность

Рексер Зиглинде: фармацевт, Берлин

Ваушкун Хельга: химик, Министерство внешней торговли ГДР, пенсионерка, Берлин

Цахер Вольфганг: инженер, в ГДР — член дирекции комбината RFT, отвечал за связи с Советским Союзом, Дрезден

Ульманн Ингрид: врач, Берлин

Позе Герлинд: кандидат биологических наук, Центральный институт питания АН ГДР, пенсионерка, Потсдам

Позе Берьбель: инженер, Комбинат домашней техники ГДР, без работы, Энинген

Позе Дитрих: доктор естественных наук, Институт физики высоких энергий АН ГДР, ОИЯИ, сын — инженер в ОИЯИ, Дубна

Позе Зигфрид: инженер-программист, Технический университет Дрезден, дочь — студентка-физик в ЦЕРНе

Позе Рудольф: автор доклада, жена — филолог-славистка, тоже бывавшая в СССР с родителями

ОКОНЧАНИЕ

Из этого короткого списка ясно видно, что пребывание коллектива немецких учёных в Советском Союзе, в описанных выше специфических условиях, нисколько не ущемляло возможности дальнейшего развития и раскрытия способностей и желаний молодого поколения. Наоборот, бросается в глаза совершенно не типичная склонность к высшему образованию, к интеллектуальной деятельности, независимо от домашней среды. Автор уверен, что этому способствовала вызванная внешними обстоятельствами замкнутость и интенсивность общения детей между собой и со взрослыми, с малыми возможностями внешних развлечений, вследствие чего невольно усилились доступные занятия в виде взаимного общения, литературы, музыки и т.п., которые, как было показано, целенаправленно поддерживались и инициировались старшим поколением. Можно с уверенностью утверждать, что на всех нас эти годы детства и молодости, годы становления личности, проведённые в России, наложили свой отпечаток и сыграли существенную роль в дальнейшей нашей судьбе.

Недавно, на одной из более или менее регулярно проводимых нами "встреч молодёжи" (в противовес нашим родителям — старикам) нам был задан вопрос, "довлеют ли над вами воспоминания о тяжёлых годах, прожитых в зоне, за колючей проволокой, с ограниченными возможностями общения с родственниками, со строго ограниченными возможностями передвижения и т.д.". Все присутствующие сошлись во мнении о том, что у них было счастливое детство, и что неотъемлемой положительной частью их жизни являются воспоминания об Обнинске.

ЛИТЕРАТУРА

1. **H. Pose**: Uber die diskreten Reichweitegruppen der H-Teilchen aus Aluminium. Zeitschrift fur Physik, 64, 1 u. 2, S.1, 1930

2. **W. Maurer, H. Pose**: Neutronenemission des Urankerns als Folge seiner spontanen Spaltung. Zs. f. Phys. 121, 1943, S. 285

3. **H. Pose**: Spontane Neutronenemission von Uran und Thorium. Zs. f. Phys. 121, 1943, S. 293

4. **H. Pose, E. Rexer**: Versuche mit verschiedenen geometrischen Anordnungen von Uranoxyd und Paraffin. Forschungsbericht. "German reports" No: G-240.Forschungszentrum Karlsruhe, S. 79

5. **Х.Р. Позе и Н.П. Глазков**: Неупругое рассеяние фотонейтронов с энергией 0,3, 0,77 и 1,0 MeV. ЖЭТФ, том 30, вып. 6. 1956, стр. 1017

6. **К.-Ф. Вайсс**: Радиоактивные стандартные препараты. Свойства, изготовление и измерение активности. Физматгиз, Москва 1958, стр. 244

О ВКЛАДЕ А.П. АЛЕКСАНДРОВА В РЕШЕНИЕ АТОМНОЙ ПРОБЛЕМЫ

П.А. Александров

Доклад представляет собой краткий обзор магнитофонных записей воспоминаний А.П. Александрова, сделанных в 1977 году.

Первый интерес у А.П. Александрова к атомной проблеме появился после доклада Я.Б. Зельдовича и Ю.Б. Харитона о возможности цепной реакции в уране на семинаре А.Ф. Иоффе в ЛФТИ в 1939 г. Предыдущие открытия в ядерной физике и этот доклад стимулировали приток людей в это направление и увеличение количества работ. В 1941 году А.П. Александров ознакомился с планом работ ЛФТИ на случай войны, где был пункт о создании атомной бомбы. Однако этот план не был принят. В июле 1941 года И.В. Курчатов со всей своей лабораторией перешел в лабораторию А.П. Александрова, сказав, что во время войны невозможно заниматься ядерной тематикой.

Летом 1942 года А.П. Александрова вызвали к С.В. Кафтанову, который был тогда министром высшего образования и являлся членом комиссии по выяснению вопросов, связанных с возможным возобновлением работ по ядерной тематике. На вопрос С.В. Кафтанова о возможности возобновления этих работ А.П. Александров ответил, что, по его мнению, сейчас это нереально.

Примерно в то же время было замечено полное прекращение научных публикаций по разделению изотопов и сильное сокращение их по ядерной физике. И тогда же, понимая важность разделения изотопов для всей атомной проблемы, А.П. Александров по собственному почину стал изучать литературу по разделению изотопов. В конце 1942 года, после визита в Москву, И.В. Курчатов предложил А.П. Александрову заняться атомной проблемой. Но он отказался, сказав, что когда появятся идеи что ему делать — они встретятся. На следующей их встрече в середине 1943 года

А.П. Александров рассказал И.В. Курчатову о плане работ по термодиффузионному разделению изотопов урана и о предварительных экспериментах, проведенных в Казани, куда ЛФТИ был переведен во время войны. И.В. Курчатов одобрил план, и начались работы сначала в Казани, а потом в 1944 г. — в Ленинграде. При создании установок, где требовались дефицитные материалы и сложная технология их обработки, А.П. Александров понял "могущество этого направления". Далее работы по термодиффузионному разделению вместе с лабораторией А.П. Александрова перешли в Москву в Институт физических проблем (ИФП) АН СССР, куда он был назначен директором вместо попавшего в опалу П.Л. Капицы. После проведения работ 1945-1947 гг. метод термодиффузионного разделения изотопов был рассмотрен на заседании Совета при 1-ом ГУ. В связи с большой энергоемкостью метода было решено рассматривать его в качестве запасного. Однако по решению Б.Л. Ванникова была построена полупромышленная установка, дававшая в сутки 100 г урана с обогащением в 2%. Выводы, сделанные в результате этой работы, совпали с тем, что было описано в известной книге Смита (1946 г.).

В ИФП в 1946 г. был организован цикл лекций по цепным реакциям и реакторам, который читали С.М. Фейнберг и В.С. Фурсов. В институте была разработана конструкция реактора с петлями для материаловедческих исследований. Но решили на территории ИФП реактор не строить из соображений безопасности. По этим идеям в ИАЭ под руководством В.В. Гончарова был создан реактор МР.

В ИФП также проводилась разработка графитового реактора с гелиевым теплоносителем как альтернативный вариант промышленного реактора для наработки плутония. По этому реактору было проведено много исследований, созданы стенды для испытания поведения материалов в среде нагретого и находящегося под большим давлением гелия. Однако, в связи с успехом реакторов с графитовым замедлителем и водяным охлаждением эта программа была остановлена.

В 1948 г. А.П. Александров был назначен научным руководителем по промышленным реакторам. Под его руководством была проведена большая работа по доведению нового реактора до проектной мощности.

Одновременно подготавливался проект следующего поколения промышленных реакторов. А.П. Александров настаивал на более мощных реакторах и совместно с А.С. Еляном предложил аппарат с мощностью в 300 тыс. кВт, причем расчет был сделан с большим запасом. На заседании в 1-ом ГУ после доклада А.П. Александрова были предложения перестраховаться и записать мощность 200 тыс. кВт. Но в результате было решено строить новые реакторы не в виде точной копии первого промышленного реактора, как предлагал А.Н. Доллежаль, а конструкции А.Е. Еляна с мощностью 250 тыс. кВт. В дальнейшем эти реакторы после незначительных усовершенствований устойчиво работали на мощности 1200 тыс. кВт. Пускался

примерно один реактор в год. Во время эксплуатации не было каких-либо серьезных аварий и недочетов в работе, что позволило избежать большого перерыва в накоплении плутония, как получалось в программах США и Англии. Именно на этих реакторах было наработано достаточное количество плутония, чтобы можно было говорить о стратегическом балансе между СССР и США.

Вторым альтернативным направлением промышленных реакторов были реакторы с тяжелой водой, которые разрабатывались в ИТЭФ. Разработку метода получения тяжелой воды поручили ИФП. П.Л. Капица предложил использовать ректификационное разделение изотопов жидкого водорода. А.П. Александров предложил использовать каталитическую конверсию ортоводорода в параводород. Первая установка для получения дейтерия, построенная ГИАП в Днепродзержинске, взорвалась. Подробный анализ причин взрыва показал, что малые примеси кислорода накапливались в твердом состоянии и это, при некоторых условиях, приводило к взрыву. Была создана измерительная система с чувствительностью 10% кислорода в водороде, которая позволила вычислить безопасную длительность кампании. Во время доклада А.П. Александрова в 1-ом ГУ с планом постройки завода по получению дейтерия основное внимание было уделено безопасности. Решение о строительстве завода было принято на заседании под председательством Л.П. Берии (в заседании участвовали В.А. Махнев, А.П. Александров и др.) с прямой угрозой расправиться с А.П. Александровым в случае взрыва. А.П. Александров в ходе выполнения этой работы официально просил о привлечении П.Л. Капицы и создании лаборатории у него на даче. Работа по дейтерию завершилась постройкой завода, участники работы были представлены к получению Сталинской премии. А.П. Александров отказался быть в числе авторов, сказав, что основная идея принадлежит П.Л. Капице, а его роль — чисто административная. После этого отношения между А.П. Александровым и П.Л. Капицей, невольно испортившиеся при назначении А.П. Александрова директором ИФП, полностью восстановились и были дружескими в течение многих лет.

Директором ИФП А.П. Александров был до времени восстановления П.Л. Капицы в этой должности (1955 г.). В 1955 г. А.П. Александров был назначен заместителем И.В. Курчатова, который был директором ИАЭ, а после смерти последнего — директором института. В ИАЭ А.П. Александров проработал до своей кончины (1994 г.)

Впервые о водородной бомбе А.П. Александров услышал на докладе Л.Д. Ландау в 1-ом ГУ в 1948 году. Тогда в ИФП работала группа под руководством Л.Д. Ландау, которая занималась взрывом $Д_2$ -T_2 смеси. Подчинялась группа непосредственно Ю.Б. Харитону. Разработку метода получения трития поручили ИФП. Было предложено облучать в промышленных реакторах блочки из лития-6 и затем прогреванием выделять тритий и получать его в чистом виде путем ректификации в жидкой фазе. В

результате было введено в строй небольшое производство на комбинате, производившем плутоний.

В начальной стадии атомного проекта А.П. Александров несколько раз привлекался для работы непосредственно с оружием. В первый раз это было в связи с необходимостью покрытия плутониевых полушарий тонким слоем никеля. Саму технологию разрабатывал А.И. Шальников, и основная трудность состояла в чрезвычайно высокой однородности покрытия. Для первой бомбы А.П. Александров лично делал это покрытие, находясь на комбинате № 817.

Второй раз А.П. Александров привлекался к работам непосредственно над оружием летом 1953 г. Очень срочно, по указанию Л.П. Берии, И.В. Курчатов, А.П. Александров и др. были вызваны к Ю.Б. Харитону, где возникла проблема деформации материалов, содержащих тритий, что задерживало сдачу бомбы к испытаниям. По мнению прибывших, никакой особой срочности в этой работе не было, однако огромное и довольно необычное давление со стороны Л.П. Берии и его генералов заставило активно взяться за работу. Через день Л.П. Берия был арестован и по мнению А.П. Александрова, Л.П. Берия в предвидении ареста хотел шантажировать взрывом, т.к. в его распоряжении были только опытные экземпляры бомб. Однако прямого доказательства шантажа не было.

Еще один раз А.П. Александров привлекался к вопросам, связанным с оружием, когда потребовалось выяснить, разрушится ли самолет, сбросивший бомбу, после воздушного взрыва. Обсуждение этого вопроса в ИФП привело к рекомендации просто покрасить самолет белой краской.

В 1948 году предложение А.П. Александрова о разработке атомных подводных лодок было обсуждено с И.В. Курчатовым и передано в правительство. Тогда это направление сочли несвоевременным и отклонили. Осенью 1952 года И.В. Курчатов сообщил А.П. Александрову о его назначении научным руководителем разработки первой атомной подводной лодки. Первый документ был утвержден И.В. Сталиным с предложением А.Д. Сахарова о вооружении лодки одной торпедой диаметром около 2 метров для осуществления мощного подводного взрыва около побережья с тем, чтобы было максимальное радиоактивное заражение прилегающего участка суши. А.П. Александров был против подобного оружия и такого использования подводной лодки. Интересно, что этот проект не был согласован с флотом, и это привело при дальнейшей разработке проекта к кардинальному изменению системы вооружений лодки.

Почти все перечисленные выше направления деятельности А.П. Александрова вылились в создание действующих производств и даже в такое крупное комплексное направление, как атомное кораблестроение.

За время работы над начальным этапом атомного проекта А.П. Александров часто встречался с руководящими лицами в стране и, естественно, со всеми основными участниками проекта, что отражено в упомянутых в самом докладе воспоминаниях и делает их интересными с исторической точки зрения.

РОЛЬ А.П. ВИНОГРАДОВА В СОЗДАНИИ АТОМНОЙ БОМБЫ И ПРЕДОТВРАЩЕНИИ УГРОЗЫ АТОМНОЙ ВОЙНЫ

Л.Д Виноградова

21 августа 1975 г. сотрудники Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского чествовали своего директора — академику Александру Павловичу Виноградову исполнилось 80 лет. Актовый зал Института был переполнен. Сюда пришли поздравить юбиляра сотрудники ГЕОХИ и кафедры геохимии МГУ, коллеги и ученики, друзья и родные. После поздравлений, поблагодарив собравшихся за тёплые слова, произнесённые в его адрес, Александр Павлович выступил с ответным словом. Он сказал: "В своей жизни я не мог пройти мимо науки, так как жизнь дала мне счастливую возможность встретиться с такими выдающимися учёными, какими были Владимир Иванович Вернадский, Игорь Васильевич Курчатов и Мстислав Всеволодович Келдыш!"

Эти слова А.П. Виноградова как нельзя лучше иллюстрируют основные этапы его научного пути и широкий диапазон научных интересов.

Многогранный талант А.П. Виноградова как естествоиспытателя и блестящие способности организатора оказали принципиальное влияние на развитие всего комплекса наук о Земле. С его именем также связано решение наиболее значительных научно-технических проблем 20-го столетия — создание и развитие атомной промышленности и освоение космического пространства.

Участие А.П. Виноградова в атомном проекте неслучайно и было предопределено развитием его научной деятельности в предвоенный период и становлением как ведущего учёного-геохимика и лидера в области аналитической химии.

Постоянный научный контакт А.П. Виноградова с В.И. Вернадским с 1926 г. как ближайшего ученика и сотрудника по Биогеохимической лаборатории АН СССР, обсуждение различных научных проблем, интерес к познанию и необычайная научная интуиция способствовали пониманию основных задач науки в различные этапы её развития.

Уже первые научные работы в области биогеохимии по изучению химического элементного состава организмов потребовали от Александра Павловича создания новых высокочувствительных методов анализа для определения микроконцентраций химических элементов в живом веществе. Поэтому в Биогеохимической лаборатории под руководством А.П. Виноградова стали гармонично развиваться аналитические методы анализа и их использование для изучения природных явлений, а сам Александр Павлович проявил себя как талантливый химик-аналитик, прекрасно владеющий всем комплексом методов классического неорганического анализа.

Особенно большой вклад внёс А.П. Виноградов в развитие полярографического метода [1], открытого в 1922 г. и разработанного чешским физико-химиком Я. Гейровским. В 1936 г. во время своей первой командировки за границу А.П. Виноградов работал в Лаборатории профессора Гейровского в Праге по освоению этого метода, а затем поставил его в Биогеохимической лаборатории.

Когда началась война, А.П. Виноградов в связи с эвакуацией В.И. Вернадского в Боровое возглавил Биогеохимическую лабораторию, которая под его руководством была эвакуирована в Казань, где полярографический метод получил дальнейшее развитие и был широко внедрён в практику работы заводов и учреждений Татарской АССР и использовался для решения вопросов оборонного характера (определение содержания цинка, марганца, алюминия, меди в сплавах, определение содержания меди, никеля и кобальта в сталях и др.).

Таким образом, к середине 40-х годов Биогеохимическая лаборатория была единственным аналитическим центром в стране, практически обладающим всеми современными по тому времени методами анализа природных объектов (эмиссионного спектрального анализа, рентгеноспектральные, колориметрические и др.). В лаборатории был сконструирован единственный в стране электронограф.

Естественно, созданная усилиями А.П. Виноградова прекрасная аналитическая база не могла быть не использована при становлении атомной промышленности.

Надо сказать, что В.И. Вернадский считал, что уже на выборах осенью 1943 г. А.П. Виноградов должен быть избран в академики. В письме из Борового, датированного 18-м апреля 1943 г., он писал А.П. Виноградову: "...Я хотел бы Вас выдвинуть в академики по аналитической химии. И очень прошу дать мне материал для представления Вас в академики. Если можно, пришлите мне в связи с этим Ваш Curriculum vitae, сделав упор

на аналитическую и неорганическую химию, рассматривая геохимию как её часть. Я не видел изданий съезда по аналитической химии. Пришлите что-нибудь, чтобы с этим ознакомиться. Вы были ведь фактически председателем.

...Не откладывайте моего осведомления о положении аналитической химии у нас." [2].

Но А.П. Виноградов часто выезжал в Москву в связи с работами Лаборатории по оборонной тематике и вовремя не прислал материалы для представления в академики, и был избран член- корреспондентом АН СССР по аналитической химии и химзащите в 1943 г.

Интересно, что идейная связь между В.И. Вернадским и А.П. Виноградовым никогда не прерывалась. Будучи в командировках, в отпусках, в эвакуации, они постоянно переписывались. В прошлом году к 100-летию со дня рождения А.П. Виноградова переписка учёных была опубликована издательством "Наука". Она насчитывает 356 писем периода с 1927 по 1944 гг. и содержит обширную информацию о различных аспектах жизни и деятельности авторов, их сотрудников и коллег и др.

Необходимо отметить выдающуюся роль А.П. Виноградова как организатора аналитической химии в СССР.

В 1939 г. А.П. Виноградов проводит 1-ую Всесоюзную конференцию по аналитической химии. После смерти академика Н.С. Курнакова он возглавил Аналитическую комиссию АН СССР. С 1946 г. по 1962 А.П. Виноградов — главный редактор созданного им журнала аналитической химии, 50-ти летний юбилей которого был отмечен в этом году.

Под редакцией А.П. Виноградова вышли в свет книги двух серий — "Аналитическая химия элементов" и "Аналитические реагенты".

Тот огромный вклад, который внёс А.П. Виноградов своей научной и организационной деятельностью в развитие аналитической химии в нашей стране, переоценить невозможно. Его большое наследие оказалось востребованным [3].

Особое значение имели работы А.П. Виноградова по изучению изотопов. Эти исследования были начаты в Биогеохимической лаборатории в 1933 г. по предложению В.И. Вернадского в связи с открытием годом раньше тяжёлого изотопа водорода — дейтерия, следовательно, и тяжёлой воды. А.П. организует работы по получению тяжёлой воды методом электролиза щёлочных растворов и вскоре публикует статью "Тяжёлая вода и её нахождение в земной коре" (Сорена, 1935). За исследования по тяжёлой воде он был удостоен премии им. Ленина, которая по значимости соответствовала Ленинской премии.

Надо сказать, что вопросам изучения тяжёлой воды придавалось большое значение. Эти работы велись широким фронтом и заграницей. Как учёный секретарь созданной в 1934 г. В.И. Вернадским Комиссии по изучению тяжёлой воды, А.П. Виноградов проводил большую работу по организации

деятельности Комиссии в целом. Надо отметить, что состояние работ по изучению тяжёлой воды в стране было плачевным. Отсутствие средств заставляло В.И. Вернадского и А.П. Виноградова постоянно в течение ряда лет с 1934 по 1937 гг. обращаться в Президиум АН СССР с ходатайством о выделении ассигнований, которые Президиумом либо отклонялись, либо выделялись слишком незначительные суммы, на которые невозможно было развернуть работу Комиссии. А между тем за границей, в США, Германии, Англии, Японии и других странах исследования по изучению тяжёлой воды интенсивно развивались. Кроме того, производство тяжёлой воды в стране было не налажено. Для производства тяжёлой воды в количествах, необходимых для исследований, нужна была мощная установка.

Комиссия неоднократно возбуждала вопрос об организации в СССР большой технологической установки для получения тяжёлой воды в целях снабжения ею исследовательских институтов страны. В 1935 г., кроме электролизёра, сконструированного в Биогеохимической лаборатории АН СССР, работала установка в Днепропетровске под руководством профессора А.И. Бродского, субсидированная Главхимпромом, и установка в Ленинградском государственном университете. На заседании Президиума Химической группы АН СССР 21 января 1936 г. А.П. Виноградов, освещая вопрос по производству тяжёлой воды, сообщил, что Главхимпром с начала 1936 г. субсидирование установки в Днепропетровске прекращает, и, если Академия наук не возьмёт на себя содержание установки, то производство тяжёлой воды в СССР прекратится. Президиум Химической группы постановил: ввиду актуальности вопроса просить Президиум АН СССР обратиться в Правительство с просьбой о временном сохранении установки в Днепропетровске с тем, чтобы Главхимпром, использовав уже имеющийся опыт и кадры, организовал производство тяжёлой воды на основе концентратов, получаемых при электролитическом выделении водорода и дешёвой электроэнергии.

В дальнейшем А.П. Виноградов последовательно разрабатывает получение изотопов на новом, более высоком атомном уровне. Эту область знания он назовёт "геохимия изотопов", которая станет одной из ярких страниц его научного творчества. Наиболее оригинальной работой довоенного периода стало изучение изотопного состава кислорода фотосинтеза, показавшее, что источником кислорода является вода, а не углекислота, как думали раньше. [4] Большой заслугой А.П. Виноградова стала организация лаборатории геохимии изотопов и геохронологии в ГЕОХИ, в которой была впервые поставлена проблема фракционирования изотопов в биосфере, изучение закономерностей распределения изотопов в различных объектах и широкое использование изотопных методов при исследовании различных типов метеоритов, горных пород, рудных месторождений, цикла отдельных элементов (кислорода, серы), а также решения разнообразных вопросов геологии и космохимии.

А.П. Виноградова заслуженно считают основателем геохимии изотопов [5]. Он воспитал немало учеников, успешно развивающих его идеи. ГЕОХИ стал одним из мировых центров изотопных исследований, где по сей день проводятся симпозиумы по стабильным изотопам, которые были учреждены также по инициативе А.П. Виноградова с 1966 г.

К началу 40-х годов сбылось предвидение В.И. Вернадского о возможности практического использования внутриатомной энергии урана. 30 июля 1940 г. Президиум АН СССР принял решение об организации специальной Комиссии по проблеме использования ядерной энергии урана или Урановой комиссии, как её сокращённо называли. В Биогеохимической лаборатории А.П. как член Урановой комиссии занимался разработкой 3-х ступенчатого термодиффузионного метода выделения ^{235}U, о чём им была подана служебная записка на имя председателя Комиссии:

"Наиболее эффективным процессом разделения изотопов из жидких и газообразных веществ может явиться термодиффузия. Поэтому я считаю правильным предположить проверить концентрацию ^{235}U путём термодиффузии UF_6." Полный текст записки приводится в книге "Переписка В.И. Вернадского и А.П. Виноградова. 1927-1944" [2].

17 мая 1941 г. А.П. Виноградов сделал сообщение о работах по термодиффузии в Биогеохимической лаборатории на заседании Урановой комиссии. Но эти работы были прерваны начавшейся Второй мировой войной.

Проведение ядерных бомбардировок Соединёнными Штатами Хиросимы и Нагасаки в начале августа 1945 г. подтолкнуло Советское правительство на принятие решительных мер по созданию отечественного ядерного оружия.

Уже 20 августа был образован Специальный комитет ГОКО, который постановил организовать при СНК СССР Первое Главное Управление для осуществления руководства всем комплексом мероприятий по использованию внутриатомной энергии урана и производству ядерных бомб. Руководителем этих работ был назначен И.В. Курчатов.

А.П. Виноградов был привлечён к атомному проекту в 1946 г. как помощник И.В. Курчатова по аналитическому контролю производства и заместитель руководителя пусковой бригады исследователей всех институтов, участвующих в работах по радиохимическому заводу — Б.А. Никитина. Под руководством А.П. Виноградова осуществляется аналитический контроль технологических процессов на заводе № 12 в г. Электросталь, радиохимическом и химико-металлургическом заводах плутониевого комбината в Челябинске-40 и других объектах ПГУ. Александр Павлович в течение многих лет был председателем Аналитического совета ПГУ (впоследствии Министерства среднего машиностроения). Участвовал в испытании первой плутониевой бомбы 29 августа 1949 г. на Семипалатинском полигоне. [6]

Для решения основных вопросов, связанных с обеспечением аналитического контроля новой технологии производства урана и плутония с высокой степенью чистоты, А.П. Виноградов в 1947 г. создаёт по решению

правительства Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского и чуть позже Лабораторию радиохимии, которую возглавил П.Н. Палей. Под руководством А.П. Виноградова в Институте проводилось изучение химических свойств мало известных тогда нептуния и плутония, разработка эффективных методов выделения радиоактивных элементов и их тщательной очистки от осколочных элементов (радиометрические, спектральные, электрохимические, люминесцентные и др.) и повышение чувствительности методов контроля микро-примесей с точностью до $10^{-4} - 10^{-5}$ % (главным образом спектральных и электрохимических), а также разработка методов концентрирования радиоактивных элементов (экстракционные и сорбционные).

В 1953 г. А.П. Виноградов был инициатором постановки в ГЕОХИ, впервые в Советском Союзе, при участии Ю.В. Яковлева метода активационного анализа, широко используемого в ядерной промышленности.[1] [7]

В начале 50-х годов наметившаяся тенденция к мирному использованию атомной энергии стала одной из самых актуальных и важных задач, в решении которых были заинтересованы все цивилизованные государства. Поэтому большое научное и общественно-политическое значение в развитии вопросов использования атомной энергии в мирных целях приобрели Сессия АН СССР, проходившая в Москве в мае 1955 г., и Международные научно-технические конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, август 1955 и сентябрь 1958). На Сессию АН А.П. Виноградов представил четыре доклада, которые были опубликованы в "Трудах Сессии АН СССР по мирному использованию атомной энергии", Изд-во АН СССР, 1955). Один из докладов, "Радиохимические исследования продуктов превращений при бомбардировке частицами высоких энергий", А.П. Виноградов сделал на пленарном заседании Сессии. Эти исследования показали большое разнообразие ядерных процессов, протекающих под действием частиц высокой энергии, и возможность по-новому подойти к решению таких теоретических вопросов, как строение ядер химических элементов, способ их образования, причины их разной распространённости в биосфере.

Первая Женевская научно-техническая конференция по мирному использованию атомной энергии, созванная по решению IX Сессии Генеральной Ассамблеи ООН, ставила своей целью обмен опытом в области применения атомной энергии в мирных целях, и тем самым внести вклад в дело ослабления международной напряжённости и укрепления доверия между государствами. В конференции принимали участие делегации 72-х стран. На этом форуме А.П. Виноградов представлял правительственную делегацию

[1] Вклад А.П. Виноградова в создание и развитие атомной промышленности был высоко оценён Правительством: он был удостоен звания Героя Социалистического Труда с вручением Ордена Ленина (1949), и ему были присуждены две Сталинские (Государственные) премии 1-ой степени (1949, 1951).

СССР. Его доклад был посвящён исследованию прямых физико-химических методов определения количественного содержания урана и элементов примесей в чистом уране. [8]

На 2-ой Женевской конференции А.П. представил доклад по геохимии изотопов.

А.П. Виноградов был главным редактором 16-ти томов русского издания Трудов I-ой Женевской конференции, а также Трудов II-ой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии.

Как учёный, принимавший активное участие в создании атомного оружия, А.П. Виноградов впоследствии стал активно выступать против использования открытий учёных в военных целях. Его участие в Международном Пагуошском движении за предотвращение угрозы ядерной войны приобрело особое значение. Своё участие в Пагуошском движении А.П. начал со II-ой конференции, которая проходила в Лак Бопорт (Канада) в апреле 1958 г. В докладе "О прекращении испытания атомного и термоядерного оружия" (Международная жизнь, 1958, № 6) А.П. Виноградов провёл анализ последствий испытаний смертоносного оружия и выразил уверенность, что прекращение этих испытаний приведёт к сокращению гонки вооружений и частичному уничтожению ядерного оружия.

В период с 1958 по 1975 гг. А.П. Виноградов участвовал в работе 15-ти конференций.

Большой положительный резонанс имели выступления А.П. на последующих Пагуошских конференциях. Приведу некоторые из них.

Говоря о роли и ответственности учёных в современном обществе на 17-ой Пагуошской конференции в Роннеби (Швеция, 1967), А.П. Виноградов выдвинул концепцию коллективной ответственности. Цитирую: "...К сожалению, плоды науки часто могут одинаково успешно служить добру и злу. Яркий пример тому — овладение атомной энергией. Поэтому теперь огромное значение приобретает коллективная ответственность учёных всех стран за то, чтобы наука служила только прогрессу человечества. Пагуошское движение как раз одна из форм проявления этой коллективной ответственности учёных..." [9]

Многие годы своей творческой жизни А.П. посвятил изучению различных аспектов биогеохимии и геохимии океана и, так как он был инициатором участия Советского Союза в Международной программе по глубоководному бурению, его не могла не беспокоить возможная милитаризация дна океанов и морей. Этот вопрос им был поднят на 19-ой Конференции в Сочи (СССР, 1969). В докладе А.П. Виноградов сказал: "...современный технический прогресс, будучи преступно использован, может способствовать накануне 2000-го года человеческой цивилизации возникновению безумной гонки милитаризации дна океана, распространив её с континентов на океаническое и морское дно. История в аналогичных ситуациях показывает, что стоит

только начать. Учёные должны сделать всё, чтобы предотвратить использование кем бы то ни было дна океана для военных целей..." [10]

Особенно остро прозвучало выступление А.П. Виноградова "О загрязнении окружающей среды" на пленарном заседании 21-ой конференции в Синае (Румыния, 1971). Дав подробный анализ причинам, вызывающим загрязнение биосферы, А.П. предложил Постоянному Комитету Пагуошского движения разработать программу широкомасштабных мероприятий, направленных на борьбу с загрязнением биосферы, вызванной подземными атомными взрывами, взрывами в атмосфере и радиоактивным сбросом в океан.

В своём сообщении я коснулась лишь некоторых аспектов деятельности А.П. Виноградова и его участия в атомном проекте, но, естественно, его вклад в создание и развитие атомной промышленности и в предотвращение угрозы ядерной войны гораздо значительнее и не может быть полностью охвачен в рамках отведённого времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Виноградов А.П.** Полярографический метод в аналитической химии// Труды Всесоюзной конференции по аналитической химии. Москва, 1939. М.- Л. Изд-во АН СССР, 1939. Т.1. с. 143-170.

2. Переписка В.И. Вернадского и А.П. Виноградова (1927-1944). Под редакцией д-ра геол.-мин. наук А.А. Ярошевского // М.: "Наука", 1995, с. 327.

3. **Варшал Г.М., Золотов Ю.А.** Роль А.П. Виноградова в развитии аналитической химии // ЖАХ, М.: "Наука", 1996. Т. 51, № 1, с. 35-37.

4. **Виноградов А.П., Тейс Р.В.** Изотопический состав кислорода различного происхождения // ДАН СССР, 1941.

5. **Донцова Е.И.** Основатель геохимии изотопов // М.: Земля и Вселенная, 1976, № 3, с. 54-55.

6. Создание первой советской ядерной бомбы. Под ред. В.М. Михайлова // М.: Энергоатомиздат, 1995.

7. **Мясоедов Б.Ф.** А.П. Виноградов и развитие радиохимии в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского // Радиохимия, 1995, № 3.

8. **Виноградов А.П.** Физико-химические методы контроля производства урана // Исследования в области геологии, химии и металлургии. М., 1955, с. 72-89 (Доклад Сов. Делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955).

9. Ответственность учёных. Десятилетие Пагуошского движения. Беседа // Известия. — 1967, 6 июля. Московский вечерний выпуск.

10. **Vinogradov A.P.** The danger of militarizing the Ocean and Sea-bed // Proceedings of the XIX-th Pugwash conference on science and world development. Sochi, USSR, Oct. 22-27-th, 1969. London, 1969. P. 350-353.

ИСПЫТАНИЕ ПЕРВОЙ СОВЕТСКОЙ АТОМНОЙ БОМБЫ (Pu-239)

Я.П. Докучаев

Испытание первой советской атомной бомбы (Pu-239) было проведено утром 29 августа 1949 года в 6 часов 30 минут местного времени на полигоне в Семипалатинской области. На испытательной площадке было оборудовано два наблюдательных пункта. Основной командный пункт (КП-1) располагался на расстоянии 7 км севернее эпицентра (15 человек). Второй наблюдательный пункт (НП-2) находился на расстоянии 10 км южнее эпицентра (8 человек). В западном направлении (10 км от эпицентра) были оборудованы два танка "КВ" с дозиметрическими приборами. Сразу же после взрыва были отобраны пробы грунта и аэрозолей для анализа. Результаты обработки всех видов анализа показали, что испытание было выполнено успешно.

22 июня 1947 года под руководством И.В. Курчатова был запущен первый отечественный промышленный уран-графитовый реактор по производству плутония. Плановая мощность реактора — 100 мегаватт. Реактор такой мощности позволил нарабатывать в сутки около 100 граммов плутония-239. Весь комплекс реакторного хозяйства назывался Объект "А".

После окончания Ленинградского госуниверситета в 1947 году я был зачислен в штат радиохимического Объекта "Б": это растворение облученных блоков урана, поступающих с Объекта "А"; отделение высокоактивных осколочных элементов от урана и плутония; получение концентрированных растворов плутония; передача концентрата плутония на Объект "В". Моей обязанностью было обеспечение радиометрических α-, β- и γ-измерений в лабораториях Объекта "Б" и согласование этих методик с лабораториями Объекта "В".

И.В. Курчатов в январе 1949 года проявил особое внимание определению α-излучения на фоне интенсивной β- и γ-радиации от осколочных элементов. По его указанию было приготовлено несколько контрольных образцов с

различными уровнями концентрации осколочных элементов, по которым он сам выполнил ряд измерений.

В основном все шло нормально. Были и неудачи [1]: промышленная технология дорабатывалась на ходу.

22 декабря 1948 года первая партия облученных блоков урана с Объекта "А" поступила для промышленной переработки на Объект "Б" [1, 2]. 26 февраля 1949 года первый азотнокислый раствор концентрата плутония, очищенный от основной массы урана и "осколочных" элементов был передан для дальнейшей переработки на Завод "В". 11 марта 1949 года на Заводе № 20 была получена первая пробная продукция [2]. В начале августа 1949 года методом горячего формования на Заводе "В" были изготовлены две полусферы плутония-239 для "Изделия № 1" (А.Г. Самойлов, М.С. Пойдо). И.В. Курчатов назвал этот процесс "чудо-вакуумная установка горячего формования". Металлический плутоний с Завода "В" после соответствующей обработки и подготовки передавался в Арзамас-16 [3].

Научным руководителем Арзамаса-16 и главным конструктором бомбы был академик Ю.Б. Харитон (р.1904). Заместителем Ю.Б. Харитона и главным конструктором "Изделия № 1" был генерал-майор инженерно-технической службы Н.Л. Духов (1904-1964). К.И. Щелкин (1911-1968) отвечал за сферически-симметричное сжатие плутониевого заряда с помощью химической взрывчатки. Я.Б. Зельдович (1914-1987) являлся главным теоретиком. П.М. Зернов (1905-1964) — административный директор испытания первой плутониевой бомбы.

22 августа в Главке Игорь Васильевич кратко пояснил мне, что требуется квалифицированное измерение α-активности на фоне большой β- и γ-активности. В ближайшие дни будет произведено испытание "Изделия". Мне было дано указание явиться вечером в 19.00 в гостиницу "Якорь" и включиться в группу научных сотрудников РИАНа, в дальнейшем следуя по назначению вместе с ними. Почти всех знал лично по предыдущей совместной работе: Н.А. Власов, Г.Н. Горшков, Б.С. Джелепов, Б.А. Никитин, И.Е. Старик, Ю.М. Толмачев и другие, всего около двадцати человек.

Совершили посадку 24 августа двумя самолетами типа "Дуглас" на маленькой взлетно-посадочной площадке воинской части, обслуживающей семипалатинский полигон. С полевого аэродрома прибыли в городок на берегу реки Иртыш. На самом высоком левом берегу Иртыша — двухэтажный коттедж для Игоря Васильевича и членов правительственной делегации. Вблизи берега несколько одноэтажных каменных домиков и столовая. Западнее, на расстоянии одного километра, был расположен комплекс лабораторных зданий для научно-исследовательских работ. Семипалатинский полигон начал создаваться в 1946 году. На месте нашей остановки военные строители продолжали увеличивать пределы городка.

Для испытания "Изделия" в качестве эпицентра была выбрана площадка на расстоянии 60 км юго-западнее городка (Рис.1).

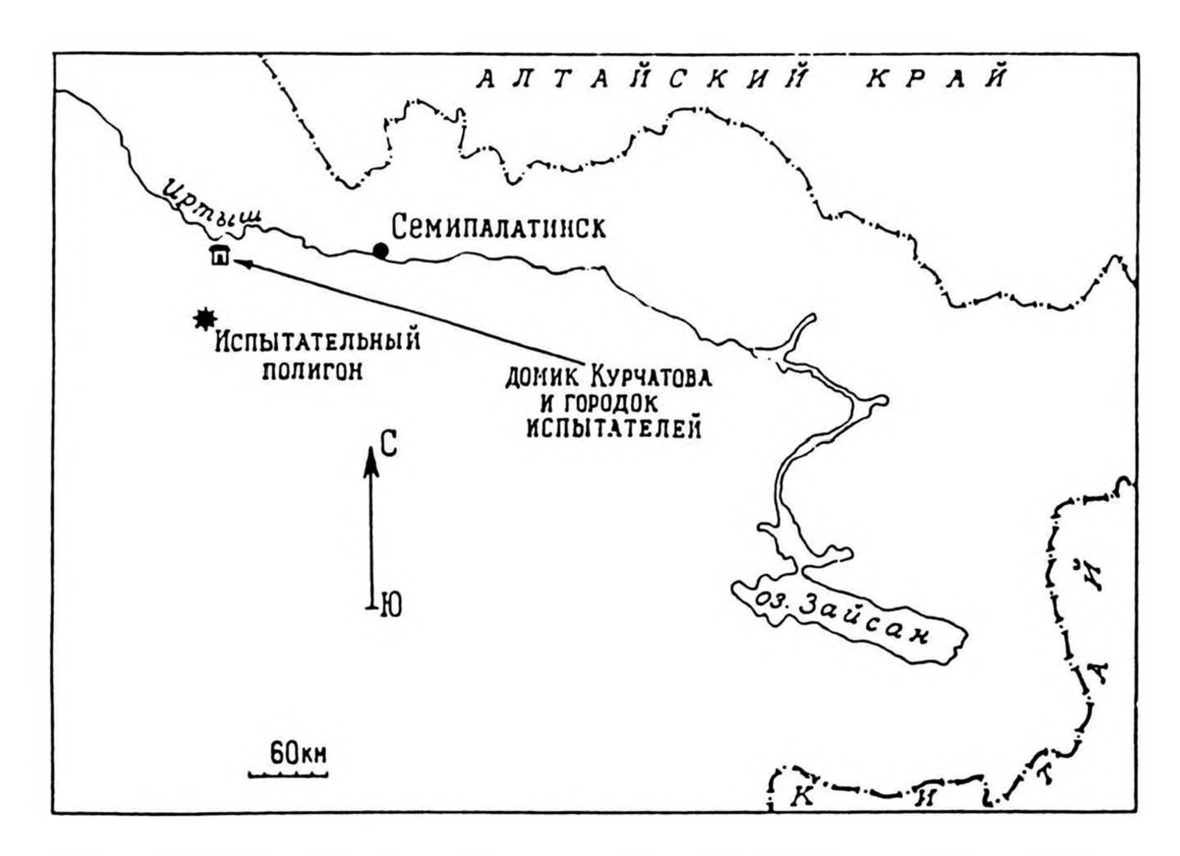


Рис.1. Испытательный полигон первого "Изделия" в Семипалатинской области. (Площадь всего полигона 5200 кв. км. "Изделие" было испытано в центре полигона. [4])

28 августа Игорь Васильевич и его помощники (А.П. Виноградов, Б.А. Никитин) проверили готовность всего комплекса радиометрических и радиохимических приборов для исследования проб.

Все дни 24-28 августа были теплыми, ясными, солнечными. Ночью всегда было прохладно. В эти дни я наблюдал тренировочные полеты двух самолетов. Один, ведомый, управляется на расстоянии другим, ведущим самолетом. Предполагалось, что при помощи этой пары самолетов можно будет отобрать пробу из столба радиоактивной пыли сразу же после испытания "Изделия". Но во время тренировочных полетов при посадке были повреждены шасси ведомого самолета, и эта пара самолетов в работе 29 августа не участвовала.

Поздно вечером 28 августа полковник по режиму устно оповестил каждого в отдельности, допущенного по списку Игоря Васильевича на наблюдательный пункт НП-2 испытательного полигона (8 человек). Час "Ч" испытания "Изделия" по графику был установлен в 06.00 местного времени. Было прохладно, облачно, периодически моросил мелкий дождь. Мы прибыли на наблюдательный пункт НП-2 в 05 часов 30 минут (Рис.2).

В эпицентре располагалась стальная башня высотой 30 метров с "Изделием" наверху. Вблизи эпицентра находились два кирпичных трехэтажных

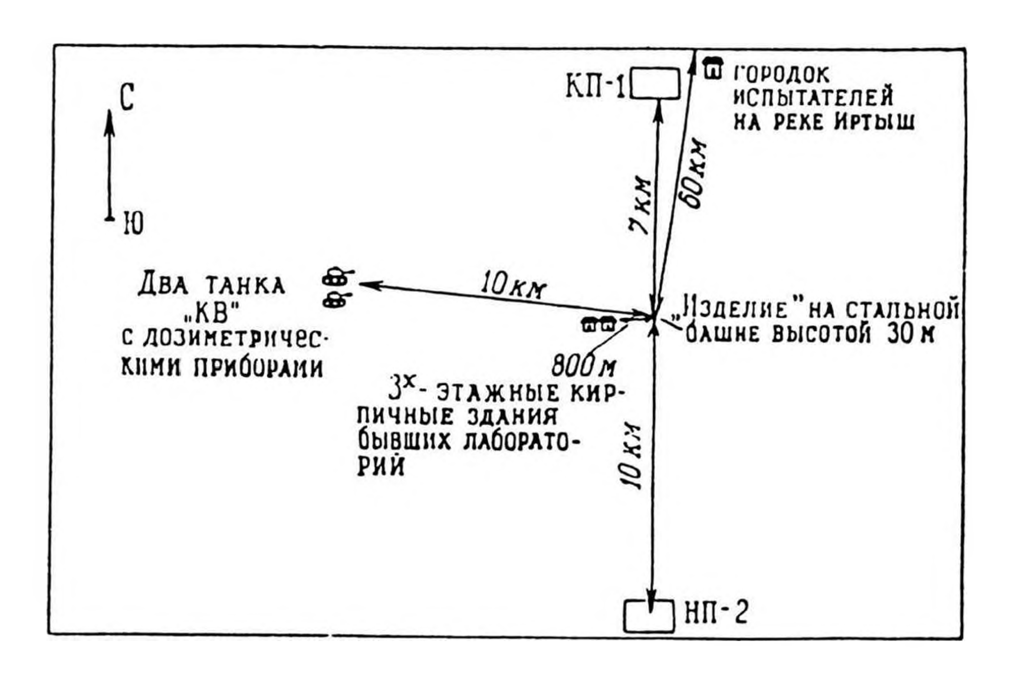


Рис.2. Примерная схема расположения командного (КП-1) и наблюдательного (НП-2) пунктов, "Изделия", танков "КВ" и городка испытателей

здания (800 метров от эпицентра). На различных расстояниях от стальной башни были расположены бетонные сооружения высотой около 30 метров с выступами-"хоботами" для приборов, регистрирующих мощность взрыва, и для быстрой съемки фильма. Артиллеристы разместили специальные стандартные полотнища на различных расстояниях для оценки мощности взрыва. Другие службы исследователей разместили подопытных животных, машины, механизмы и различные сооружения.

На расстоянии 10 км в западном направлении от эпицентра располагались два тяжелых танка "КВ" с дозиметрическими приборами. В одном из танков находился заместитель министра здравоохранения СССР по радиационной безопасности А.И. Бурназян (1906-1981). Этот танк должен был пройти через эпицентр через 30 минут после взрыва. Второй танк имел иное направление, без захода в эпицентр.

Командный пункт (КП-1) располагался севернее эпицентра на расстоянии 7 км. Это был хорошо защищенный от световой вспышки и ударной (звуковой) волны каземат с двумя комнатами. Там были сосредоточены все приборы управления, регистрации результатов испытания, узел оповещения внутренней громкой связи. На КП-1 находились: Л.П. Берия, генерал госбезопасности Осетров, А.П. Завенягин, И.В. Курчатов, М.Г. Первухин, Ю.Б. Харитон, К.И. Щелкин, Г.Н. Флеров, Д.С. Переверзев (всего около 15 человек).

Наблюдательный пункт НП-2 был расположен южнее эпицентра на расстоянии 10 км. Здесь был сооружен один небольшой блиндаж с перископом. На НП-2 было 8 человек. Все расположились стоя на смотровой площадке лицом к эпицентру правее блиндажа:

— А.П. Виноградов (1895-1975), в день испытания член-корреспондент АН СССР, директор Института геохимии и аналитической химии АН СССР им. В.И. Вернадского.

— Б.А. Никитин (1906-1952), в день испытания член-корреспондент АН СССР, руководитель пусковой бригады промышленного радиохимического Завода "Б" Комбината-817.

— Я.Б. Зельдович (1914-1987), в день испытания член-корреспондент АН СССР, главный теоретик "Изделия № 1".

— М.Г. Мещеряков (1910-1994), в день испытания доктор физико-математических наук, заместитель лаборатории № 2 АН СССР. В 1946 году он присутствовал при испытании в США двух атомных бомб в Тихом океане на атолле Бикини (одно в атмосфере и одно подводное).

— Я.П. Докучаев (р.1920), в день испытания начальник группы радиометрических методов контроля технологического процесса промышленного Завода "Б" Комбината-817. В 1946 году уже имел представление о ядерном взрыве, т.к. изучил книгу Г.Д. Смита "Атомная энергия для военных целей" ([5]).

— Н.Л. Духов (1904-1964), в день испытания генерал-майор инженерно-технической службы, заместитель Ю.Б. Харитона, главный конструктор.

— Адъютант Н.Л. Духова, лейтенант Иван (отчество и фамилию не знаю).

— Полковник режима на НП-2 (анкетных данных не знаю) занял самую крайнюю позицию справа.

В 06.00 с командного пункта (КП-1) по внутренней громкой линии связи сообщили, что час "Ч" переносится на 07.00. Ожидалось, что к 07.00 небо прояснится.

Полковник режима выдал всем нам затемненные очки и объяснил правила поведения: а) за минуту до "Ч" надеть затемненные очки; б) после момента вспышки можно снять очки и в течение 20 секунд наблюдать стоя; в) через 20 секунд после "Ч" принять горизонтальное положение, пока не пройдет взрывная (звуковая) волна; г) после прохождения звуковой волны действовать произвольно, но ничего не записывать на память. Я сразу же надел затемненные очки — темно, ничего не видно. Выбрал момент появления солнца в разрывах облаков — видно слабо-красное солнце.

Наши конструкторы затемненных стекол для очков ориентировались на книгу Г.Д. Смита "Атомная энергия для военных целей" [5]. В этой книги сказано (стр.265): "Световой эффект вспышки не поддается описанию. Вся местность была освещена палящим светом, сила которого во много раз

превосходила силу полуденного солнца. Этот свет был золотым, пурпурным, фиолетовым, серым и синим".

Вот такие темные очки нам выдали. Между тем, в 06.10 с КП-1 объявили, что время "Ч" переносится на 06.30. По измерениям потоков быстрых нейтронов оказалось, что фон нейтронов медленно нарастает. "Изделие" может преждевременно нагреться, а это опасно для сопряжения деталей.

Осталось 20 минут. Все внимание сосредоточено на стальной башне. Однако на расстоянии 10 км видимость недостаточная. В этом итоговом сооружении сконцентрирован труд сотен тысяч людей, которые трудились днем и ночью в течение четырех лет.

Осталось 15 минут. Терпеливое ожидание. Тихие переговоры между ближайшими сотрудниками по работе. Н.Л. Духов дает какие-то указания своему адъютанту. Осталось 5 минут. Все молчат в ожидании событий.

Готовность 1 минута. Надели темные очки и ожидаем. В дальнейшем сигналы готовности передавались через каждые 10 секунд. Наконец, раздалась команда "Ч"!

Через темные очки увидел яркое белое пламя (эллипс), по цвету подобное электросварке. Продолжительность яркого свечения — несколько секунд. Сняв очки, продолжал наблюдение до 20-ой секунды после "Ч".

К этому времени яркое свечение белого пламени-шара уже исчезло. У поверхности земли образовалась вытянутая полусфера пыли и пепла диаметром около 500 метров и высотой около 30 м, похожая на купол цирка. Эта полусфера на расстоянии 10 км не светилась: она была покрыта густым слоем пыли и пепла серого цвета. Вверх от места взрыва взметнулся столб пыли и пепла серо-черного цвета.

Через 20 секунд после "Ч" мы залегли под защиту земляного вала. Через 30 секунд после вспышки вдали раздался сильный громоподобный удар. Но непосредственного давления воздушных слоев на организм не ощущалось. В разрывах облаков появилось солнце. Мгновенно надев темные очки, я посмотрел на солнце для сравнения. Действительно, яркость вспышки была сопоставима с яркостью солнца, но дополнительное освещение на расстоянии 10 километров за счет вспышки не наблюдалось.

Выделявшаяся энергия была велика: сначала основной удар — затем громоподобный затухающий гул, продолжавшийся 10-15 секунд.

Взрыв был настоящий ядерный, но мощность взрыва была значительно меньше расчетной. Однако, в принципе проблема ядерной бомбы взрывного типа была решена [6].

Прошла взрывная волна. Все встали. "Да здравствует товарищ Сталин! Ура!!!" — громко произнес Н.Л. Духов. Начались взаимные поздравления. Н.Л. Духов продолжал: "Записать всех, кто здесь присутствует, для истории!"

Б.А. Никитин и А.П. Виноградов пожали друг другу руки. Я.Б. Зельдович молчал. М.Г. Мещеряков также молчал, зная что-то "очень секретное" в итоге поездки в США.

А между тем, столб пыли и пепла над эпицентром продолжал подниматься все выше и выше.

Первое впечатление — выпустили из бутылки ужасного, злого "Джинна". Бог знает, когда теперь удастся его укротить и возвратить обратно в бутылку, и будет ли это сделано когда-нибудь? Сколько несчастий и смертей принесет эта проблема "Джинна" земной цивилизации!

Второе впечатление — столб пыли и пепла был слишком черным. Он вырвался из вытянутой полусферы взрывных газов через несколько секунд после "Ч" с большой скоростью, постепенно замедляясь. Вследствие сопротивления атмосферы верхняя часть столба испытывала завихрения. Так образовалась лохматая, очень черная шапка ("гриб"), которая с высотой постепенно нарастала и расширялась.

Третье впечатление — наш первый семипалатинский "гриб" совершенно не похож на первый американский, судя по книге Г.Д. Смита ([5], стр.261-265): "Образовалось большое плотное облако. Облако поднялось на большую высоту сначала в виде шара, затем оно приняло форму гриба, затем превратилось в длинный похожий на трубу столб и, наконец, было рассеяно в нескольких направлениях переменными ветрами на разных высотах. Огромное многоцветное клубящееся облако взлетело на высоту более 12000 метров".

При испытании "Изделия № 1" вытянутая серая полусфера взрывных газов и пыли осталась в эпицентре. Серо-черный столб вырвался из этой полусферы, и гриб достиг облаков примерно за 5 минут. Высота облачного покрова, которая была первоначально около 1000 метров, возросла под действием взрывной волны до 2000 метров. Серо-черный столб всасывал в себя газы и пыль из вытянутой полусферы, которая при этом истощалась и оседала. Под действием ветра столб и "гриб" постепенно отклонялись по направлению ветра. После того, как столб и "гриб" достигли облаков, облака сильно почернели от конденсации паров воды. Вытянутая полусфера на поверхности земли постепенно исчезла (истощилась, осела). Теперь столб и "гриб" имели только две точки опоры: эпицентр и дождевое облако. Это состояние оказалось неустойчивым. Примерно на полувысоте столба появился перегиб и затем разрыв. Нижняя половина столба, медленно падая, смещалась на северо-запад по направлению ветра. Верхняя половина "гриба" втянулась (всосалась) в облако и продолжала "путешествовать" по воле ветров верхних слоев атмосферы. Облачность над полигоном начала рассеиваться. Появилось солнце, и я вновь надел затемненные очки, пытаясь по памяти сравнить вспышку "Изделия" с яркостью солнца. Яркость вспышки была подобна яркости солнца. Примерно через 2 часа после "Ч" все облака растаяли от горизонта до горизонта. Стало жарко, душно, ветрено.

Наше внимание привлекли яркие световые отблески в том месте, где стояла башня. Температура вспышки была очень высокой, башня испарилась,

песчаный грунт расплавился и опять затвердел. От поверхности затвердевшей корки песка, как от зеркала, отражались солнечные блики.

С КП-1 поступила команда: "Ожидайте прибытия Бороды!" Примерно в 09.00 к нам прибыл Игорь Васильевич на машине "Победа". Краткое поздравление Игорю Васильевичу от всех нас выразил Борис Александрович Никитин: "Это явление не земное, а космическое!"

К моему удивлению, Игорь Васильевич не улыбался, был очень озабочен, чем-то недоволен. На поздравление Б.А. Никитина он не ответил и поспешно пригласил М.Г. Мещерякова в блиндаж на краткое совещание в отсутствии свидетелей. Даже Я.Б. Зельдович приглашен не был. Совещание в блиндаже продолжалось около 20 минут, после чего Игорь Васильевич быстрой походкой вышел из блиндажа и уехал. М.Г. Мещеряков молчал.

Мне показалось, что Игорь Васильевич не очень был доволен результатами испытания. Мощность взрыва была меньше расчетной.

В 10.00 мы покинули НП-2 и отбыли на места расположения лабораторий для продолжения работы по графику.

В районе городка исследователи также наблюдали момент "Ч". Общий вид вспышки и "гриба" на горизонте был хорошо заметен. Ударная волна не ощущалась, но был слышен отдаленный гул взрыва. Звук достиг городка через 3 минуты после вспышки. Цвет вспышки был слегка красноватым из-за эффектов расстояния и влажности воздуха ([7], стр.292).

В конце дня 29 августа Игорь Васильевич направил группу дозиметристов для обследования местности по направлению выпавшего радиоактивного столба в сторону Акмолинска и по направлению движения облаков, унесших с собой вершину (шапку) "гриба". В дозиметрической разведке участвовала авиация.

В тот же день, 29 августа, все службы и лаборатории приступили к обработке результатов испытания "Изделия", оценке мощности и КПД. Приступили к отбору проб для анализа. Наиболее представительные пробы в эпицентре отбирали исследователи нашей группы.

Весьма эффективным оказался радиохимический метод определения количества выделившейся энергии и КПД "Изделия". Эту работу возглавили Б.А. Никитин, А.П. Виноградов, И.Е. Старик, Ю.М. Толмачев, В.И. Гребенщикова. Радиометрические измерения β- и γ-активности выполняли Б.С. Джелепов, Н.А. Власов, Г.Н. Горшков, Л. Сорокина. Радиометрические измерения α-активности выполнял Я.П. Докучаев.

Общая методика радиохимии и радиометрии состояла из четырех основных пунктов: 1) отбор представительных проб в эпицентре на различных расстояниях по радиусу; 2) определение количества неразделившихся ядер Pu-239 по α-активности; 3) определение количества разделившихся ядер Pu-239 по β- и γ-активности осколочных изотопов: Zr, Nd, Cs, Ba, Ce и др.; 4) сопоставлением пунктов 1-3 делается вывод о количестве выделившейся энергии (мощности) и коэффициенте полезного действия.

30 августа я участвовал в отборе проб из эпицентра. В нашей группе были три человека: кандидат физико-математических наук Н.А. Власов (1910-1987), кандидат физико-математических наук Г.Н. Горшков (1905-1984) и руководитель радиометрической группы Я.П. Докучаев (р. 1920). Старшим группы был Н.А. Власов. Мы согласовали правила отбора проб. Наше снаряжение состояло из комбинезона, противогаза, резиновых перчаток, маленького металлического совка, брезентового мешочка для отбора проб, солдатских ботинок и чулок, солдатского нательного белья. Переодевались в полевой палатке-санпропускнике. Индивидуальных дозиметров у нас не было. На "Козлике" быстро достигли эпицентра и приступили к отбору проб. Всю работу по отбору проб выполнили за 5-7 минут.

Н.А. Власов имел стрелочный дозиметр. На окраине эпицентра дозиметр показывал 50000 микрорентген в секунду. В самом эпицентре дозиметр "зашкалил". Через 5-7 минут Николай Александрович подал команду "отбой" ([7], стр. 292-293).

Отобранные представительные пробы для анализа поместили в "Козлик" подальше от водителя, и он на максимальной скорости помчался в наши лабораторные помещения, расположенные вблизи Иртыша.

Мы выходили из зоны эпицентра быстрым шагом, но не бежали. Как только вышли за пределы спекания песчаника (200-250 метров от эпицентра), сняли противогазы и спокойно направились в палатку санпропускника. В общей сложности в эпицентре и зоне спекания песчаника находились 15 минут, получив таким образом суммарную дозу облучения 50 рентген (может быть и больше).

В противогазе было затруднительно обозревать окружающую местность. Пробоотбор поглощал почти все наше внимание, а накапливающаяся доза облучения не позволяла длительно находиться в эпицентре. Но даже при беглом взгляде было ясно, что:

1. Стальная башня испарилась полностью до основания. Вся поверхность эпицентра была покрыта застывшими кусками-окатышами расплавленного песка. После времени "Ч" прошло около 30 часов. Под действием температурных изменений расплавленный песок в эпицентре растекался.

2. В эпицентре поверхность слегка вдавлена. Она окаймлена выброшенными из эпицентра застывшими кусками расплава. Диаметр окаймляющего кратер вала составляет 5-6 метров. Поверхность воронки неровная. Вдавленную поверхность эпицентра можно приближенно сравнить с мелкой тарелкой с пологими краями. Это совершенно не похоже на кратеры от взрывов бомб или снарядов, когда образуются воронки с относительно крутыми краями. Здесь же произошел процесс взаимодействия очень горячей сферически- симметричной воздушной волны радиусом 30 метров с поверхностью песчаного грунта. Получилась "тарелочка" с плоскими краями, диаметром 5-6 м и глубиной около 50 см.

Небогатый растительный покров семипалатинской полупустыни был уничтожен в радиусе 200-250 м (зона спекания песка).

Интересно сравнить, что пишет Л. Гровс в книге "Теперь об этом можно рассказать" ([8], стр.296): "В результате взрыва в окружности 370 метров была уничтожена вся растительность, и образовался кратер с легким наклоном к центру. В центре этого кратера находилось чашеобразное углубление диаметром 37 метров и глубиной 1,8 метра".

В нашем случае внешняя поверхность спекшегося песка вблизи кратера была слегка приподнятой ("припухшей"). В радиусе 100-150 метров застывший расплав песка под ногами не трескался, даже выдерживал вес "Козлика". На самой границе расплава песчаная корка под ногами хрустела. Внутри кратера преобладали темные цвета, вне кратера лежал серый спекшийся песок. Следов танковых гусениц в "тарелочке" не было, но рядом с ней, за пределами вала, я заметил гусеничный след. Танк, в котором находился А.И. Бурназян, прошел вблизи "тарелочки", но не через эпицентр.

После выхода из зоны спекания песка посмотрели, что есть интересного вокруг: а). Ближайшая к эпицентру башня-"хобот" слегка повреждена (примерно 300 м от эпицентра). "Хобот" надломлен (бетон треснул) и удерживался от падения стальной арматурой. Более удаленные башни-"хоботы" видимых повреждений не имели. б). На расстоянии 800 м от эпицентра два трехэтажных здания нормальной кладки из красного кирпича. Мы увидели эти здания с расстояния около 500 метров. Они были расположены вдоль радиуса взрывной волны. Коробки зданий не разрушены. Простенки между окнами также были целы.

Попытаюсь объективно описать мое психологическое состояние после окончания работы по отбору проб. Было ощущение легкого опьянения, ослабление чувства опасности, ложная "храбрость". Появилось головокружение и понижение чувствительности зрения к дневному освещению. Мне показалось, что уже наступает вечер, но солнце находилось высоко над горизонтом. Возвратившись в городок на берег Иртыша, я хорошо поел в столовой, но ощущал приступы тошноты. Пошел на берег Иртыша, спокойно подышал свежим воздухом, искупался в бодрящей воде и, добравшись до постели, лег спать. Спал 2-3 часа. Головокружение почти прекратилось, чувствительность зрения восстановилась. Только через 5-6 часов после пробоотбора я увидел, когда в действительности стал наступать вечер.

31 августа отбором проб руководил член-корреспондент АН СССР И.Е. Старик (1902-1964) со своими сотрудниками РИАНа. В это время через всю зону радиоактивной опасности проходила группа солдат, около 20 человек, под руководством офицера. Солдаты были в противогазах и в снаряжении таком же, как у нас 30 августа. Они отбирали пробы в брезентовые мешочки. Многие солдаты из-за головокружения теряли равновесие при выходе из радиоактивной зоны.

К исходу дня 30 августа был подведен предварительный итог, который показал, что испытание "Изделия № 1" прошло успешно. В дальнейшем это подтвердилось и уточнилось радиохимическими и радиометрическими анализами, а также другими методами оценки мощности взрыва.

Мне не известны официальные сведения о мощности первой плутониевой бомбы, которые были утверждены. Однако, попытаюсь выполнить свою приближенную оценку.

1. Расстояние от эпицентра до НП-2 в нашем случае составляло 10 км (Рис.2). Расстояние от эпицентра до НП-2 при испытании в Аламогордо составляло 15,5 км, т.е. в 1,55 раза больше, чем у нас. Повторю описание Г.Д. Смита ([5], стр.265): "Световой эффект вспышки не поддается описанию. Вся местность была освещена палящим светом, сила которого во много раз превосходила силу полуденного солнца. Спустя 30 секунд подошла воздушная волна (КП-1), с силой ударившая по людям и предметам. Последовал сильный раскатистый, наводящий ужас рев".

По-видимому, наше расстояние до НП-2 было в 1,55 раза ближе не для того, чтобы подвергнуть смертельной опасности таких выдающихся ученых, как А.П. Виноградов, Б.А. Никитин, Я.Б. Зельдович, М.Г. Мещеряков, Н.Л. Духов, которые стояли во весь рост на открытой смотровой площадке.

Вероятно, ожидаемая (плановая) мощность взрыва "Изделия № 1" была не более 10000 тонн тротила. В США мощность первого взрыва составляла 20000 тонн тротила ([5]).

2. Во время измерения α-активности исходных образцов Б.А. Никитин очень интересовался, похоже ли отношение суммарной β- и γ-активности к α-активности на Продукт-62 — это исходный азотнокислый раствор облученных блоков урана на Заводе "Б" Комбината-817.

В этом исходном растворе содержание плутония составляло около 100 граммов на одну тонну урана.

На 100 разделившихся ядер U-235 образуется 100 ядер Pu-239. Коэффициент преобразования U-235 в Pu-239 составляет около 1,4% (по числу ядер).

Исходные образцы проб, отобранные после испытания "Изделия № 1" (которыми особенно интересовался Б.А. Никитин), по соотношению β-активности к α-активности были подобны Продукту -62.

Можно оценить, что КПД "Изделия № 1" было около 2%, а мощность (энерговыделение) — около 2000 тонн тротила.

Этот результат не противоречит тем эффектам, которые мы наблюдали: 1) дополнительное освещение за счет вспышки "Изделия" на расстоянии 10 км не наблюдалось; 2) взрывная воздушная волна воспринималась как далекий артиллерийский залп и последующий гул в течение 15-20 секунд; 3) колебания почвы не обнаруживались; 4) размер воронки ("тарелочки") в эпицентре невелик: диаметр 5-6 метров, глубина в центре 0,5 метра (в

Аламогордо диаметр кратера составлял 37 метров, глубина 1,8 метров); 5) коробки двух кирпичных зданий на расстоянии 800 метров от эпицентра видимых повреждений не имели; 6) слабая растительность семипалатинской полупустыни была уничтожена в радиусе 200-250 метров (в Аламогордо 370 метров); 7) возникновение и разрушение ствола черной пыли и "гриба" подробно описаны выше.

Приведу несколько фраз из воспоминаний А.И. Бурназяна (1906-1981) ([9], стр. 305-311): "Для сбора дозиметрической информации в эпицентре взрыва были выделены два танка. Место старта в 10 км от башни за бугорком. И вот расположенный перед нами бугорок озарился невероятно ярким, ни с чем не сравнимым светом. В испепеляющем свете мы увидели, как ударная волна разбрасывает и сметает с неба облака над местом ядерного взрыва. Танки подбросило как перышки. Включили максимальную скорость. Буквально через десяток минут после взрыва наш танк был в эпицентре. Стальная башня исчезла вместе с бетонным основанием, металл испарился. На месте башни зияла огромная воронка. Желтая песчаная почва вокруг спеклась, остекленела и жутко хрустела под гусеницами танка.

Во время отбора проб в эпицентре 30 августа 1949 года мы не обнаружили следов танковых гусениц в "тарелочке", но рядом с ней (за пределами вала) был заметен след танковых гусениц. Танк, в котором находился А.И. Бурназян, прошел вблизи "тарелочки" на расстоянии 2-3 метра, но не через эпицентр.

Исходная позиция танков была на расстоянии 10 км от эпицентра. Ударной волной танки не могли быть подброшены, как перышки. Мы, восемь наблюдателей, находились на НП-2 в 10 км от эпицентра. Ударной волной никто не был подброшен, колебания почвы мы не ощущали. Зияющей огромной воронки не было: ее диаметр составлял 5-6 метров, а глубина в центре 0,5 метра. Облака над местом взрыва исчезали медленно. Только через 2 часа после "Ч" небо полностью очистилось от облаков.

1 сентября И.В. Курчатов отбыл в Москву.

Несколько слов о влиянии ядерного взрыва на погоду.

29 и 30 августа 1949 года днем было тепло и даже жарко, а ночью прохладно. 31 августа заметно похолодало. 1 сентября небо заволокли тяжелые "свинцовые" тучи, на Южном Урале выпал снег. Заморозки продолжались 3-5 дней, а затем опять потеплело. По-видимому, это было первое экспериментальное подтверждение того, что "ядерная зима" — вполне реальный факт.

Мы продолжали работать 1 и 2 сентября. 3 сентября из Москвы поступила команда, чтобы все исследователи покинули район Семипалатинского полигона и отбыли к местам своей постоянной работы. С нас взяли подписку "о неразглашении". Так мы молчали много, много лет. Большинства участников испытания уже нет — они ушли в область Вечного молчания. Увлекаясь "чрезвычайной секретностью", мы потеряли много научных,

инженерных и технических приоритетов. Теперь видно, что сложные проблемы можно было бы выполнить быстрее и дешевле. Кроме того, в условиях секретности на "горячие" места без особого труда проникали лица, умеющие и желающие быть "на виду, на плаву".

Официальное правительственное сообщение о наличии в СССР ядерного оружия появилось в газете "Правде" № 268 (11375) только 25 сентября 1949 года, в воскресенье [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гладышев М.В.** "Плутоний для атомной бомбы (директор плутониевого завода делится воспоминаниями)". Рукопись хранится в Музее им. И.В. Курчатова химкомбината "Маяк".

2. "Озерский вестник", общественно-политическая газета г.Челябинска-40, №№ 48-49, 18 июня 1993 г.

3. **Самойлов А.Г.** "Более половины жизни в институте." — Страницы истории ВНИИНМ. Воспоминания сотрудников. Том 1. — М., с.60-79.

4. **Круглов А.К.** "Рождение второй атомной державы". — Энергия: экономика, техника, экология. № 9. — М., Наука, 1994. С.4-11.

5. **Смит Г.Д.** "Атомная энергия для военных целей" — М., Трансжелдориздат, 1946.

6. **Фраунфельдер Г., Хенли Э.** "Субатомная физика." — М., Мир, 1979., С.594-597.

7. **Власов Н.А.** Вблизи Курчатова. — В кн.: "Воспоминания об Игоре Васильевиче Курчатове". — М., Наука, 1988. С.282-304.

8. **Гровс Л.** "Теперь об этом можно рассказать." — М., Атомиздат, 1964.

9. **Бурназян А.И.** О радиационной безопасности. — В кн.: "Воспоминания об Игоре Васильевиче Курчатове" — М., Наука, 1988. С.305-311.

10. "Правда", орган ЦК и МК ВКП(б), № 268 (11375), 25 сентября 1949 г.

ДЕЛА И ЛЮДИ НОВОЗЕМЕЛЬСКОГО ПОЛИГОНА ПО ВОСПОМИНАНИЯМ УЧАСТНИКОВ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Б.И. Огородников

21 сентября 1955 года в губе Чёрная на Новой Земле состоялся первый в Советском Союзе подводный ядерный взрыв. На глубине 10-15 м была взорвана боеголовка к торпеде Т-5. Так начал функционировать в Заполярье полигон, принявший на себя трудные задачи боевого оснащения ядерного флота, испытания мощных термоядерных "изделий". За 35 лет, отсчитанных от той исторической вехи, на Новой Земле проведено 132 ядерных взрыва, из них 87 атмосферных, 42 подземных и 3 подводных.

В докладе представлены мемуарные, биографические, справочные и документальные материалы. Круг корреспондентов чрезвычайно широк: от рядовых матросов и солдат до адмиралов и генералов. Среди них — конструкторы, лётчики, подводники, физики, химики, дозиметристы, радисты, врачи, журналисты, несколько академиков, профессоров, лауреатов Ленинской и Государственной премий, Героев Социалистического Труда.

О становлении Новоземельского полигона, проведении работ, жизни в суровых заполярных широтах вспоминают и рассуждают участники — свидетели испытаний ядерного оружия. Многим из них пришлось побывать в суровых служебных и погодных переделках или, как теперь говорят, в нештатных ситуациях.

После испытания первой советской атомной бомбы РДС-1, проведённого 29 августа 1949 г., проблема противоатомной защиты нашего флота переросла в подготовку к его оснащению ядерным оружием. В 1953 г. коллектив КБ-11 Арзамаса-16 подготовил к запуску в серию заряд, имевший втрое меньшие размеры, чем образцы 1951 г., и в три раза меньшую массу, по сравнению с РДС-2 и РДС-3.

При испытаниях "изделий" РДС-1, -2 и -3 на Семипалатинском полигоне среди прочих инженерных сооружений и боевой техники были размещены некоторые элементы кораблей и береговых сооружений, в том числе палубные надстройки эсминцев, торпедные аппараты, мины и др. Однако по этим испытаниям нельзя было в полной мере судить о воздействии ядерных взрывов в морских условиях на надводные и подводные корабли, причалы и т.д.

После взрыва нашей водородной бомбы Министерство среднего машиностроения получило заказ на разработку боевой части торпеды, которая впоследствии получила наименование "Т-5". Работы в Арзамасе-16 и в Москве (КБ-25) шли полным ходом, встал вопрос об испытаниях торпеды. Важно было не просто выявить мощность заряда, но и поражающее воздействие в конкретных морских условиях.

Главком ВМФ Н.Г. Кузнецов поручил подыскать место для полигона начальнику недавно созданного управления Главного штаба ВМФ контрадмиралу П. Фомину. Конкретным исполнителем этого задания был назначен заместитель Фомина полковник Е. Барковский.

В комиссию было включено много учёных. Среди них — директор Института химической физики академик Н. Семёнов, его заместитель член-корреспондент М. Садовский, от Института прикладной геофизики — член-корреспондент Е. Фёдоров, из Арзамаса-16 — один из ведущих разработчиков ядерного заряда Е.А. Негин.

Сразу направились в главную точку будущего полигона — губу Чёрную с юго-западной стороны Новой Земли. Место оказалось настолько удачным, что сразу почти всю работу спланировали, потом только уточняли. Удачным оказался выбор в политическом, стратегическом, экологическом отношениях. Ныне России ни с кем не нужно вести тяжбу вокруг Северного полигона. Сама природа охраняет его от лишних глаз, к тому же полигон достаточно далёк от населённых пунктов. Ближайший посёлок Амдерма расположен на расстоянии 280 км, Архангельск — 1000, Мурманск — 900 км.

Совет Министров СССР постановлением от 13 апреля 1955 г. принял предложение министерств обороны и среднего машиностроения о проведении испытаний двух изделий Т-5 на Новой Земле в сентябре-октябре 1955 г. в стационарном положении на небольших глубинах. Одним из этапов подготовки к испытанию явилась серия модельных экспериментов подводных взрывов на Ладожском озере и на полигонах ВМФ на Чёрном море.

В июне 1955 г. группы испытателей стали прибывать на Новоземельский полигон. За короткое полярное лето была проведена воистину "адова" работа и к концу августа, благодаря неимоверным усилиям личного состава, управления, полигона, спецстроя-700, бригады опытных кораблей всё было готово к испытаниям.

В соответствии с тем же постановлением правительства, на Новой Земле в районе губы Чёрной построили 6 приборных и 5 оптических пунктов, 8

приборных стендов для забора воздуха и осадков. Большое число измерительных приборов разместили на кораблях и плавучих 120-тонных стендах, а также на береговых сооружениях.

Перед полигоном стояла трудная задача по определению мощности подводного взрыва. Кроме того, необходимо было определить "коэффициент полезного действия", то есть, какая часть делящихся материалов прореагировала. Для этих целей требовалось взять пробы воздуха и воды стационарными средствами, а также были задействованы 11 самолётов, 4 вертолёта и 2 тральщика. Все пробы предстояло обработать в лабораториях полигона.

Сборка заряда осуществлялась в специально построенном здании ДАФ на площадке № 2 в заливе Рогачёва и проходила под руководством Е.А. Негина.

"К испытаниям всё было готово, — вспоминает капитан 1 ранга в отставке В.П. Ахапкин, — с опытовых кораблей уже сняли весь личный состав, но внесла свои коррективы погода. Над полигоном легла плотная пелена тумана, причём по прогнозам — на длительный срок. На командном пункте нарастала нервозность: ждать, когда распогодится, руководство не желало, но и лишаться ценных оптических наблюдений не было резона. Все были раздражены, и тут, 20 сентября, когда ничто не предвещало улучшения погодных условий, начальник объединённой метеослужбы полковник Н.П. Беляков даёт прогноз, что завтра, 21 сентября будет "окно" в тумане. Все приободрились.

Ранним утром 21 сентября казалось, что прогноз не оправдается. Видимость оставалась практически нулевой. И вдруг с аэродрома Рогачёво идёт доклад: "Туман уходит. Самолёт с группой аэрофотосъёмки готов к взлёту". Ну, а дальше всё пошло чётко, как по часам. На подлёте к губе Чёрная самолёт выдал сигнал на штабной корабль "Эмба" о готовности к работе. По команде с корабля отключается первичная система предохранения боезаряда, включается регистрирующая аппаратура, и затем, с определёнными промежутками времени, снимаются очередные ступени защиты "изделия". В 8 ч 00 мин по сигналу "Ноль" осуществляется подрыв боезаряда, который был опущен в воду на глубину примерно 10 м с тральщика пр. 253-Л."

Интересны впечатления командира дозора радиационной разведки Е.И. Коптелова:

"И вот настал день испытаний — 21 сентября 1955 г. С командного пункта отчётливо видна акватория, на которой застыли корабли. Напряжённая тишина. Всё в полной готовности. Чёткий голос из динамика доносит цифры: 10, 9, 8, ... 1, 0! Взрыв! Поднимается водяной столб с большим облаком в верхней части, который растёт на глазах и достигает нескольких километров по высоте. Затем видно, как при обрушении водяного столба образуется мощная, концентрическими кругами расходящаяся волна, которая накатывается на корабли-мишени. И только после этого слышен гул. Первый подводный ядерный взрыв в СССР осуществлён!

Примерно через 40-45 мин. после взрыва наш дозор получил приказ убыть на разведку.

Включены дозиметрические приборы, и мы тронулись. Первые 4-5 км приборы показывали только естественный фон. Затем стрелка прибора поползла вверх. Зашкален 1 поддиапазон (0-2 Р/ч), перешли на второй (0-20). Быстро шифруем и передаём на командный пункт донесения. Зашкален II поддиапазон, перешли на последний (0-200). Под колёсами машины — серый слой выброшенного взрывом ила, клочья водорослей. И вот стрелка достигла отметки 100 Р/ч. Стоп! Дальше по инструкции двигаться нельзя."

Главный результат испытаний — атомный заряд торпеды сработал. Теперь сроки принятия на вооружение Т-5 определяла её ходовая часть, испытания которой проходили на других полигонах. И только заключительный этап Государственных испытаний опять состоялся на Новой Земле.

Государственные испытания торпеды Т-5 были выполнены осенью 1957 г. Их программой предусматривались два пристрелочных пуска торпеды со специальной боевой частью, один выстрел в контрольной комплектации (без делящихся материалов) и один боевой выстрел штатной торпедой с подрывом атомного заряда на глубине 25 м (позже её увеличили до 35 м). Несмотря на то, что до этого провели более 20 стрельб по программам заводских и зачётных испытаний, стрельбы на Новой Земле начались с нескольких неудач.

Анатолий Сергеев — участник этих испытаний, чьи воспоминания опубликованы в книге С.В. Пестова. "Бомба. Тайны и страсти атомной преисподней", так рассказывал о событиях тех дней: "Первое новоземельское испытание в 1957 г. прошло "комом". В губе Чёрной опробовали атомную торпеду: в подводную лодку-мишень стреляли из другой лодки. Но её командир дал залп не пристрелявшись, торпеда выскочила на пологий берег и осталась там лежать. Ликвидировать её артобстрелом посчитали накладным, и пришлось главному конструктору и добровольцу из КГБ идти обезвреживать взрывной механизм. Через несколько дней ту же торпеду запустили вновь. После ядерного взрыва мишень испарилась, а поднявшийся столб воды понесло в сторону и вверх. Им накрыло дозиметрический самолёт, находившийся в 12 километрах севернее. Лётчик сумел посадить машину, прошитую галькой со дна губы и насквозь пропитанную водой из эпицентра. Но доза облучения превысила 900 рентген, лётчик умер по дороге в ленинградский госпиталь". Имени лётчика Сергеев не знал.

Для эсминца "Гремящего" и его команды испытания торпеды Т-5 стали последней проверкой выучки и мужества на славном историческом пути.

Экипаж "Гремящего" состоял из 5 офицеров, 80 старшин и матросов. Сокращённому до минимума личному составу приходилось поддерживать в рабочем состоянии механизмы и технические средства корабля, отрабатывать и совершенствовать элементы борьбы за живучесть.

В подготовке корабля к ядерному взрыву принимала участие большая группа учёных и специалистов. Люди работали в необычных, сложных условиях Заполярья, на пределе своих сил и возможностей.

Вспоминает командир "Гремящего" А.И. Алфёров:

"Подводное испытание атомного оружия произвели с помощью торпеды с ядерным боезарядом, выпущенной с подлодки по находившейся в эпицентре взрыва барже. Подводный взрыв представлял собой захватывающее зрелище. Обширная водная поверхность залива вначале засветилась, затем вскипела и стала подниматься вверх. Как и при наземном ЯВ, всё это сопровождалось мощными громовыми раскатами. Перед гигантской водной стеной корабли казались совсем крохотными и беззащитными. Когда же вода медленно осела и видимость улучшилась, оказалось, что находившиеся на рейде эсминцы "Грозный", "Разъярённый", подводные лодки С-81, Б-9, Б-20, два тральщика, все мелкие суда и баржи затонули сразу после взрыва. Эсминец "Гремящий" в критическом состоянии остался на плаву. С большим трудом удалось запустить насосы и ликвидировать наибольшие очаги возгораний. В разгар спасательных работ наша группа получила приказ возвратиться на берег, так как люди уже несколько часов находились в зоне повышенной радиации. Радиометры регистрировали заражённость одежды. Состояние наше было незавидное. И всё же усилия команды не оказались напрасными — корабль был-таки отбуксирован на мель". Так и стоит он — памятник эпохи — по сей день в губе Чёрной.

Помимо испытателей, на Новоземельском полигоне трудилось немало других специалистов. В очерке "Благодарен судьбе", опубликованном в гарнизонной газете "За Родину" летом 1994 г. к 40-летию полигона, доктор медицинских наук В.А. Попов писал:

"Я благодарен судьбе за то, что первым местом моей офицерской службы стал заполярный гарнизон.

В те годы большинство военнослужащих жили в гарнизоне без жён, что объяснялось сложностью их трудоустройства.

Редко кому удавалось решить эту проблему, оформив жену по договору на должность, например, "каюра ездовых собак", или на какую-нибудь иную необычную для других мест. Мне же, можно сказать, повезло. Моя жена Воля Алексеевна, востоковед-филолог, специалист по четырём африканским языкам, первое время работала машинисткой в редакции местной газеты, а затем библиотекарем.

Где только ни пришлось тогда оперировать: на дизель-электроходе "Байкал", ледоколе "Литке", полярной метеостанции Малые Кармакулы."

Опробованное в 1957 году, боевое поле в районе губы Сульменева — губы Митюшиха буквально с первых месяцев нового 1958 г., когда полигоном командовал уже контр-адмирал И. Пахомов, было приведено в готовность для испытания зарядов мегатонного класса. С 23 февраля по 22 марта проведена первая серия из восьми взрывов, с 20 сентября по 25 октября —

ещё пятнадцать. По числу испытаний в 1958 году Новоземельский полигон впервые опередил Семипалатинский.

С апреля 1959 г. по август 1963 г. Новоземельским полигоном командовал генерал-майор Г.Г. Кудрявцев.

В 1959-1960 гг. в связи с достигнутой на переговорах о запрещении ядерных взрывов договорённостью между СССР и США, испытания были приостановлены. Великобритания также не проводила ядерные испытания. Но их начала в 1960 г. Франция, произведя 3 наземных взрыва. И, как обнаружилось впоследствии, США в эти годы осуществили несколько десятков испытаний зарядов сверхмалой мощности.

10 сентября был произведён первый из 27 ядерных взрывов, осуществлённых в 1961 г. Мощность девяти из них была свыше одной мегатонны. В этом же месяце на совещании, прошедшем под руководством Главкома ВМФ, были рассмотрены вопросы проведения испытаний ядерного оружия непосредственно в интересах Военно-морского флота и ракетных войск.

В октябре на полигоне прошли испытания оперативно-тактической ракеты с ядерной боеголовкой, ядерной торпеды и авиационной крылатой ракеты с ядерной боеголовкой. На Северном острове на высоте 3,5 км была взорвана бомба мощностью около 50 мегатонн. Всего в 1961 г. СССР произвёл около 50 взрывов, из них половину (27) — на Новоземельском полигоне.

Подводя итоги взрыва "супербомбы", ведущие специалисты Арзамаса-16 Ю.Б. Харитон и Ю.А. Романов в статье "О некоторых мифах вокруг советского атомного и водородного проектов" писали:

"Наши физики 30 октября 1961 года осуществили непревзойдённый до сих пор по мощности взрыв 50-мегатонной бомбы. Подрыв бомбы был осуществлён на высоте четырёх километров над Новой Землёй с помощью стратегического бомбардировщика ТУ-95 под командованием Героя Советского Союза А.Е. Дурновцева.

Этот заряд отличался высокой "чистотой": 97% его мощности приходилось на термоядерные реакции. Полный успех испытания 30 октября 1961 года доказал возможность конструировать на основе предложенного принципа водородные заряды практически неограниченной мощности. Авторы этой разработки — А.Д. Сахаров, В.Б. Адамский, Ю.Н. Бабаев, Ю.Н. Смирнов, Ю.А. Трутнев."

Интересна и ещё одна оценка, данная научным руководителем Арзамаса-16 Ю.Б. Харитоном и представленная в книге С.В. Пестова "Бомба. Тайны и страсти атомной преисподней".

"На вопрос — зачем нужен был взрыв подобного "чудовища"? — академик Харитон дал такой ответ: "Конечно, всерьёз этого обосновать нельзя. Теоретики были очень увлечены работой, и захотелось показать, что у нас может быть больше, чем у американцев, которые к тому времени навзрывали

достаточно 15-ти мегатонных бомб. Вообще, это была демонстрация того, что оружие у нас не хуже, а кое в чём и лучше, и мощнее!"

По публикации норвежского природозащитного общества "Беллуна", вспышка от взрыва "супербомбы" была зарегистрирована даже в их стране.

О том, как жили и трудились на опытовом поле во время серии самых мощных ядерных взрывов в атмосфере, вспоминает В.А. Вахрамеев.

"Группы испытателей были сформированы из матросов и офицеров НИЧ. На БК-2 работали: капитан 2 ранга Кузнецов В.Г., капитан-лейтенант Васильев Б.С., старший лейтенант Кокарев Ю.Н., лейтенант Зайцев В.Н., на БК-3 — капитан-лейтенанты Вахрамеев В.А., Галкин В.М., Георгиевский Б.С., Мазин П.Н. и старший лейтенант Долудо Л.Г.

В бронеказематах едва хватало места для размещения аппаратуры физических измерений, приборов автоматики и источников питания. При плюсовой температуре влажность поднималась до 95%. Для жилья были доставлены на каждый БК по два "полярных" домика — щитовые сараи на полозьях площадью примерно 10 кв. м с маленьким окошком напротив двери, через которое человек в критической ситуации пролезть не мог. Нары устроили по типу вагонного купе в три яруса по левой и правой сторонам. Под нижним ярусом поместили аккумулятор 6 СТК-80 для освещения домика тусклой 12-вольтовой лампочкой. Армейская УКВ-рация типа Р-105 с дальностью связи 20-25 км по пересечённой местности (питание от автономных щелочных аккумуляторов) предназначалась для связи с начальством — командиром палаточного городка в губе Митюшиха капитаном 2 ранга Гориславцем М.В. Радиоприёмник "Родина" (питался от батарей БАС-80) заменял газеты, которые сбрасывали с самолета стопкой за 2-3 недели".

Последний воздушный ядерный взрыв прогремел над Новой Землёй 25 декабря 1962 г. Через восемь месяцев (5 августа 1963 г.) в Москве был подписан Договор о запрещении испытаний в трёх средах: в воздухе, космосе и под водой.

Новый поворот на историческом пути Новоземельского полигона и его коллектива произошёл практически день в день с его 10-летним юбилеем: 18 сентября 1964 года состоялся первый подземный взрыв. Начала работать технологическая зона В у западного устья пролива Маточкин Шар.

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ СССР – ДЕРЕВО ЦЕЛЕЙ, РЕСУРСЫ, УСИЛИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ (1945–1950 гг.)

Р.Б. Котельников, В.А. Тумбаков

Составление дерева целей рекомендуется проводить при планировании сложных комплексных работ. Составленное дерево служит основой для разработки программ разработок и исследований и, в частности, сетевых графиков. Для исследований в области истории техники разработка и воссоздание дерева целей для уже проведенных разработок также представляется весьма целесообразной. Такое дерево целей позволяет получить наглядную цельную картину сложного процесса решения задачи. Представляется, что разработка дерева целей должна быть обязательной стадией работы по составлению истории советского атомного проекта.

Естественно, что ценность и информативность составленного дерева целей зависят и определяются объемом и глубиной использованной для этой работы информации. В качестве конкретного варианта построения дерева целей советского атомного проекта на рис.1-2 представлены фрагменты применительно к задачам создания плутониевой и урановой бомбам. Разделение на такие фрагменты единой, в общем, работы представляется допустимым, поскольку каждая из этих задач имела свою специфику и границы каждого направления очерчены весьма определенно.

В схемы рис.1-2 включены наиболее крупные работы, имевшие прямое значение для решения конечной задачи [1-13]. В целом, дерево дает наглядное представление о логической взаимосвязи большого количества работ. Число работ, сложность структуры дерева отражают соответственно сложность и многоплановость проблемы. Так, количество приведенных на рис. 1-2 работ составляет для плутониевой и урановой бомб соответственно 10 и 60.

При существенном увеличении объема исходной информации и усложнении соответственно структуры дерева, необходимо ориентироваться на использование компьютера.

В каждой из работ, проведенной на рис. 1-2, как правило, участвовали несколько организаций, как научно-исследовательских, так и промышленных. Важнейшими из них являлись: КБ-11 (сейчас — ВННИЭФ), НИИ-9, комбинат 81 ("Маяк"), комбинат 813, ИАЭ (РНЦ "Курчатовский институт"), РИАН, завод N12, ГСПИ-11 и ряд других. В качестве конкретной иллюстрации на рис.1-2 отмечены работы, которые выполнялись с участием головной материаловедческой — технологической научно-исследовательской организацией ПГУ (МСМ) НИИ-9 (сейчас ГНЦ ВНИИНМ имени академика А.А. Бочвара).

Для углубленных и объективных исследований и сопоставления атомных проектов СССР и США представляется весьма желательным и эффективным составление дерева целей для обеих стран. Но в доступной нам литературе такие данные по США отсутствуют.

РЕСУРСЫ

Среди основных ресурсов, которые каждая из стран, выполнявших огромную работу по атомному проекту, могла использовать, следует выделить: численность населения (с учетом квалификации), объем национального дохода (с учетом его структуры), территорию, наличие месторождений урана и пр. В таблице 1 сделана попытка сопоставить некоторые из этих величин для СССР и США.

К сожалению, отсутствие информации делает это сопоставление весьма фрагментарным и ненадежным — это только попытка поставить вопрос. Анализируя, тем не менее, данные таблицы, можно отметить следующее. По величине территории и общей численности населения СССР и США примерно равны друг другу. Однако, если учитывать профессиональный и образовательный состав населения, то ресурсы СССР были в 1945-50 гг. существенно меньшими, чем у США.

Существенно меньшими были у СССР промышленные ресурсы.

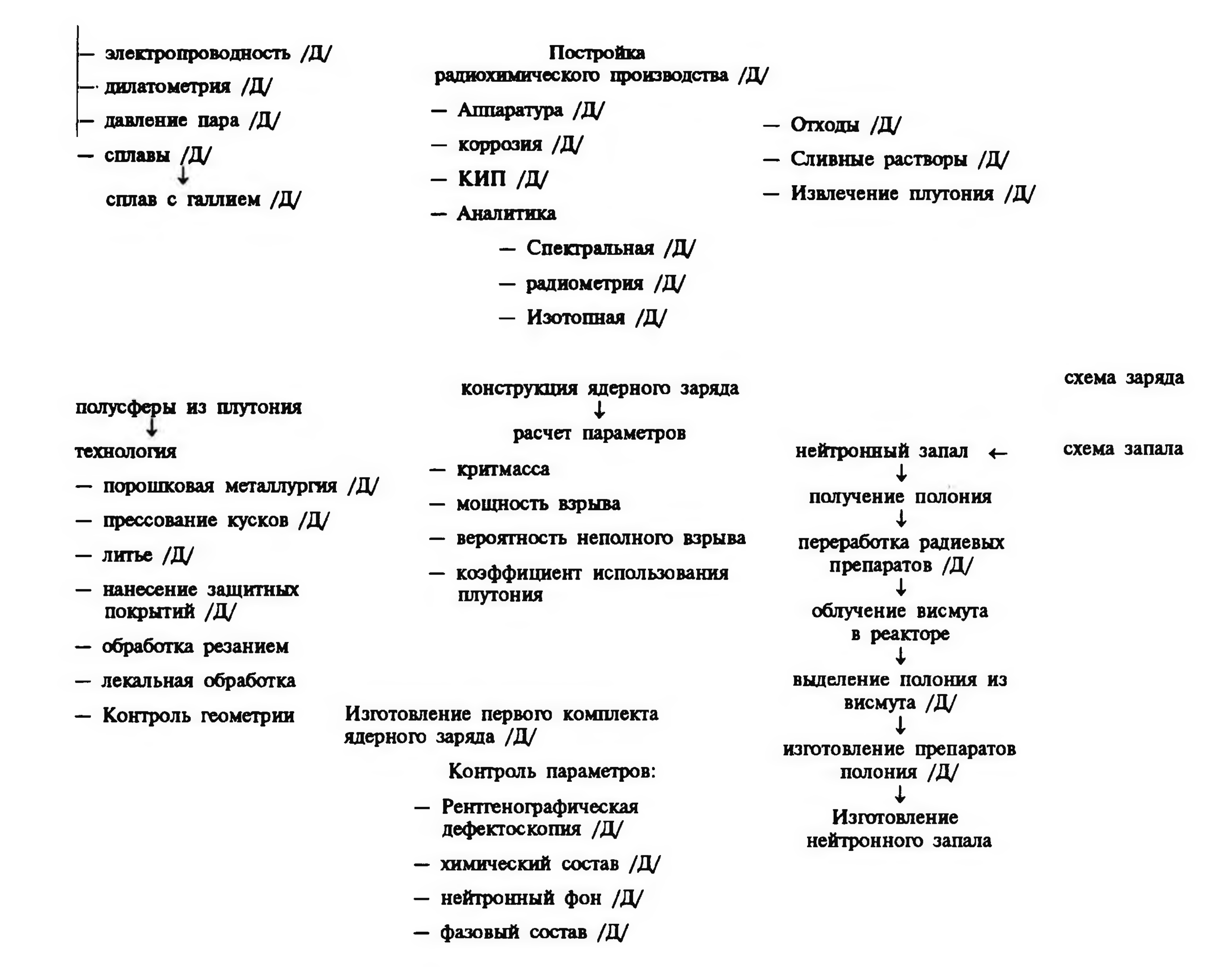
В работе [27] соотношение уровней промышленности СССР и США вначале 1950-х годов оценивается как 1:5.

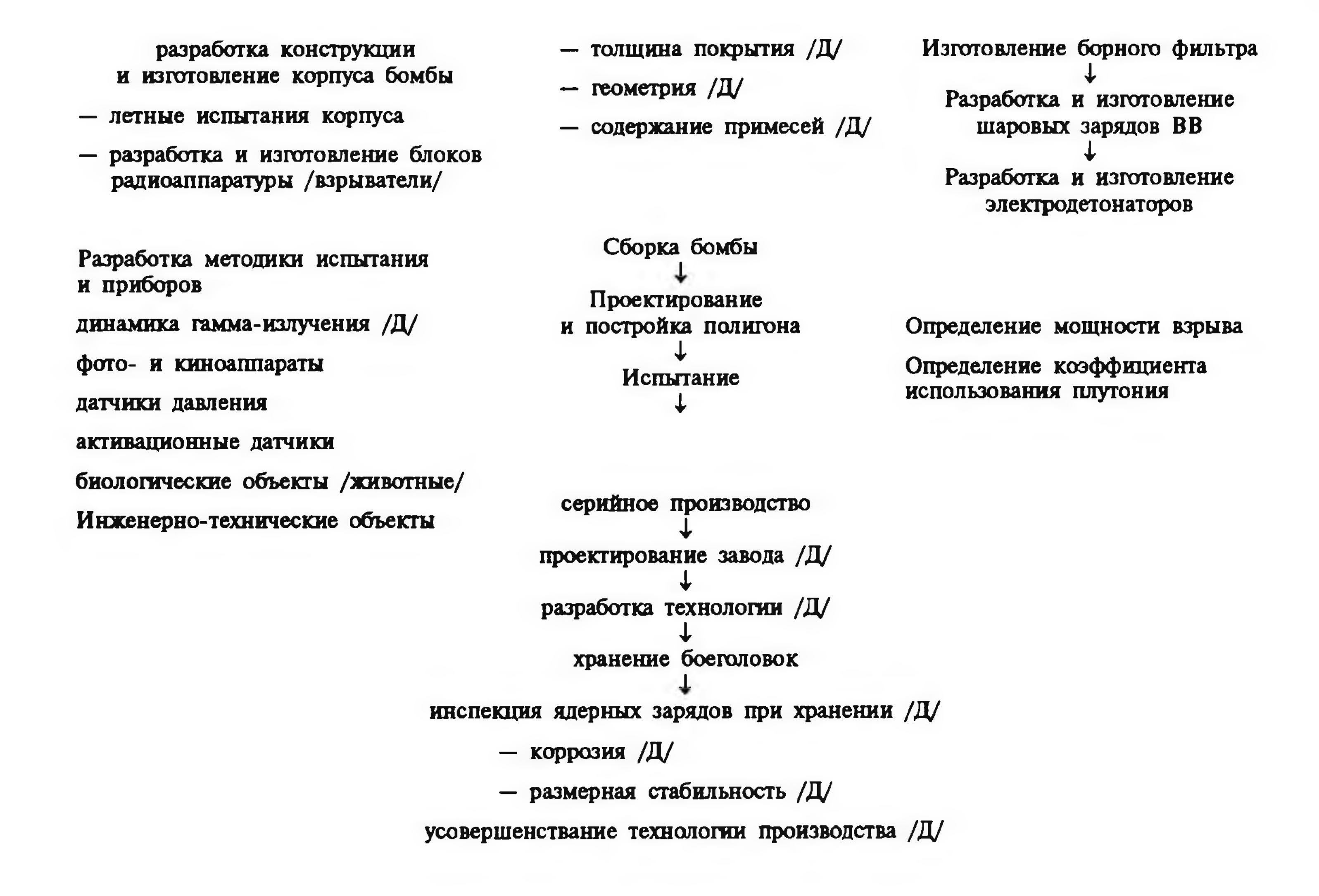
Неблагоприятное, особенно на начальном этапе работ, соотношение было по уже разведанным крупным месторождениям урана. В СССР не было месторождений, аналогичных знаменитым месторождениям бельгийского Конго и Канады, которые, практически, находились в распоряжении США.

Существенно большими, чем у СССР, были финансовые ресурсы США. Соотношение национальных доходов составляло в период 1945-50 гг. около 1:5. Если к тому же учесть, что из имеющихся ресурсов СССР был вынужден обеспечивать усилия по восстановлению народного хозяйства, разрушенного войной, то соотношение будет еще более неблагоприятным для СССР.



Ранние работы
Информация разведки
Цепная реакция деления атомов урана
Теория цепных реакций
Оценка величины критической массы, оценка мощности взрыва
Физико-химия взрыва
Пушечный принцип создания сближения критмасс
имплозия
использование урана-235
Взрывной принцип создания критмассы
Поиск урановых руд /Д/
переработка урана /Д/
Использование плутония
открытие плутония
получение урана /Д/
Выбор схемы реактора
технология блочков /Д/
Постройка циклотрона
уран-графит
уран-тяжелая вода
уран-обогащ. вода
получение индикаторных количеств плутония
изучение химии плутония
Постройка промышленного реактора
постройка физического реактора Ф-1
Производство ядерно-чистого графита
выделение миллиграммовых количеств плутония
выбор схемы выделения
Пуск реактора
исследование свойств плутония /Д/
Проектирование радиохимического производства /Д/
Борьба с распуханием блочков /Д/
структура /Д/
плотность /Д/
аллотропия /Д/
температура плавления /Д/


— электропроводность /Д/
— дилатометрия /Д/
— давление пара /Д/
— сплавы /Д/
сплав с галлием /Д/
Постройка радиохимического производства /Д/
— Аппаратура /Д/
— коррозия /Д/
— КИП /Д/
— Аналитика
— Спектральная /Д/
— радиометрия /Д/
— Изотопная /Д/
— Отходы /Д/
— Сливные растворы /Д/
— Извлечение плутония /Д/
полусферы из плутония
технология
— порошковая металлургия /Д/
— прессование кусков /Д/
— литье /Д/
— нанесение защитных покрытий /Д/
— обработка резанием
— лекальная обработка
— Контроль геометрии
конструкция ядерного заряда
расчет параметров
— критмасса
— мощность взрыва
— вероятность неполного взрыва
— коэффициент использования плутония
Изготовление первого комплекта ядерного заряда /Д/
Контроль параметров:
— Рентгенографическая дефектоскопия /Д/
— химический состав /Д/
— нейтронный фон /Д/
— фазовый состав /Д/
схема заряда
схема запала
нейтронный запал
получение полония
переработка радиевых препаратов /Д/
облучение висмута в реакторе
выделение полония из висмута /Д/
изготовление препаратов полония /Д/
Изготовление нейтронного запала



Примечание: Схема составлена по /1—10/. /Д/ — разработка выполнялась при участии НИИ-9 /"Девятки"/.

Рис. 1. ДЕРЕВО ЦЕЛЕЙ СОЗДАНИЯ ПЛУТОНИЕВОЙ АТОМНОЙ БОМБЫ СССР (1945—1953 гг.)

Ранние работы

Информация разведки

Теория цепных реакций → Цепная реакция деления атомов урана

↓

Физико-химия взрыва → Оценка величины критической массы урана и оценка мощности взрыва

↓

Пушечный принцип создания сверхкритической массы

Разведка месторождений урана /Д/

↓

Оценка запасов урановых руд /Д/

↓

Добыча и переработка руд /Д/

↓ Зарубежье

- → Чехословакия →
- → Германия →
- → Болгария →
- → Румыния →
- → Польша →

↓ СССР

- ← Туямуюн /Д/
- ← Табошары /Д/
- ← Джиль /Д/
- ← Силамяэ /Д/
- ← Бештау /Д/
- ← оз. Иссык-Куль /Д/

Получение гексафторида /Д/

→ Обогащение изотопом 235

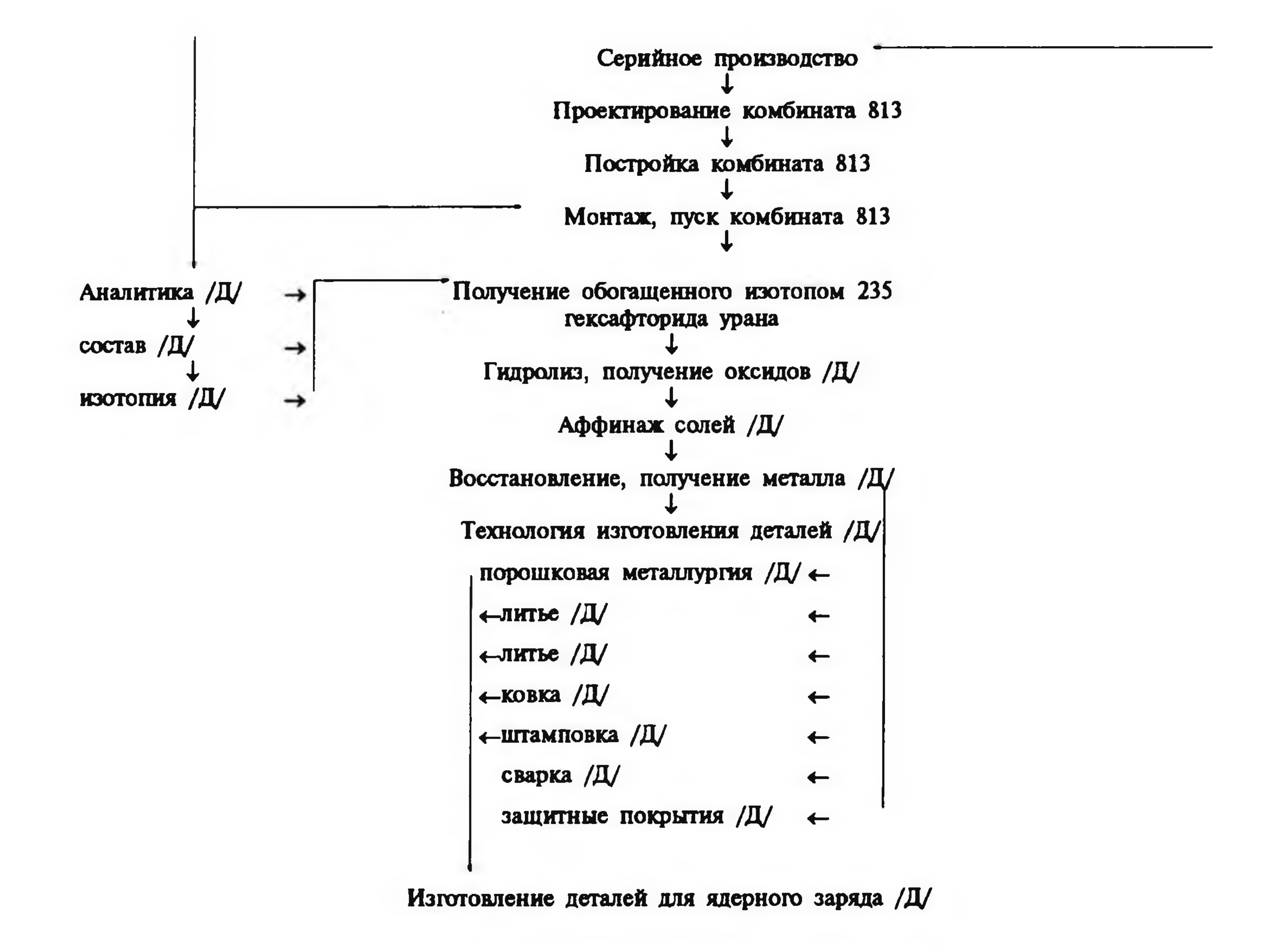
→ Электромагнитный

→ центрифужный /Д/
- → материал
- → подшипники

→ термодиффузионный

- → Конструирование компрессоров
- → Многоступенчатый
- → Одноступенчатый →
- → Вакуумная техника →
- → течеискатели →
- → приборы контроля →
- → холодильники →
- — сварка →
- — гальванопокрытия никелем →

- → Разработка фильтров
- → Пробивка
- → ткань
- → фотопечать
- → спекание порошка
- → пластаны →
- → трубки →



Примечание: Схема составлена по /1—10/. /Д/ — разработка выполнялась при участии НИИ-9 /"Девятки"/.

Рис. 2. ДЕРЕВО ЦЕЛЕЙ СОЗДАНИЯ УРАНОВОЙ АТОМНОЙ БОМБЫ В СССР (1945-1953 гг.)

УСИЛИЯ

Понимая под "усилиями" те реальные ресурсы, которые страны могли выделить для решения задач атомных проектов, можно отметить следующее. Общая численность занятых на этих работах в СССР и США была примерно равна ("на строительстве Хенфорда работало 130 тыс. чел." [11]), но если в Челябинске на строительстве "Комбината-817 — "Маяка" большая доля строителей приходилась на заключенных и стройбатовцев, то в США состав строителей и оснащение техникой были, очевидно, иными. А так как объем выполненных работ в обеих странах был примерно одинаков, то, соответственно, интенсивность усилий в СССР, напряжение работы было, вероятно, на порядок выше, чем в США.

Аналогичные рассуждения можно привести и в отношении финансовых усилий стран: при равных, примерно, затратах на работы средства в СССР были изъяты от национального дохода в 5 раз меньшего, чем в США и, соответственно, интенсивность усилий следует признать в 5 раз большими. Рассматривая данные табл. для США и принимая, что опубликованная информация о величинах затрат на атомный проект и величина национального дохода США не очень отклоняются от действительных, можно обратить внимание на то, что эти затраты на атомный проект составляют всего лишь 1/200 от национального дохода, т.е. весьма малы, если не сказать "малочувствительны".

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью атомных проектов было создание и производство ядерных боеприпасов. Оценочные величины по количеству и мощности произведенных ядерных средств по данным [21-23] приведены в таблице. Эти данные, если они не слишком отклоняются от действительности, показывают, что интенсивность накопления ядерной взрывчатки за аналогичные сроки от начала развертывания работы в СССР была, по-видимому, в несколько раз меньше, чем в США. Причиной этого могли быть: меньшая проектная мощность реакторов наработчиков плутония, меньший коэффициент использования их мощности и меньший коэффициент извлечения плутония из облученного урана.

Таблица 1

Атомные проекты в США и СССР — ресурсы, усилия, результаты (1941—1953 гг.)*

Название			Годы работы									
	СССР		1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953
	США		1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950
1. Ресурсы												
1.1. Население, млн. чел.	СССР	[15]	/165/	/167/	170	172	174	176	179	182	186	188
	США	[16]	/134/	/136/	/137/	/138/	/140/	141	/144/	/147/	/149/	151
1.2. Нац. доход												
млрд. руб.	СССР	[17]	/47/	/54/	/60/	/66/	/72/	/78/	/84/	/90/	/96/	/103/
млрд. дол.	США	[18]	/110/	/124/	/138/	/152/	/166/	181	/198/	/216/	/234/	/251/
1.3. Сумма нац. дохода												
млрд. руб.	СССР		-	/54/	/114/	/180/	/252/	/330/	/414/	/504/	/600/	/703/
млрд. дол.	США		-	/124/	/262/	/414/	/580/	/761/	/954/	/1125/	/1409/	/1660/
1.4. Произ-во электроэнергии,	СССР	[19-21]	/30/	43	49	56	66	78	91	104	119	134
млрд. кВт.ч	США	[20]	/188/	/204/	220	/236/	/252/	269	/304/	338	/369/	/401/
2. Усилия												
2.1. Затраты,												
млрд. руб.	СССР	[22]	-	/0,5/	/1,2/	/2,0/	2,6	/3,2/	/3,9/	/4,5/	/5,2/	/5,8/
млрд. дол.	США	[23, 24]	-	/0,1 /	/0,2/	/0,3/	/0,4/	0,4	0,7	/0,8/	/0,9/	/1,0/
2.2. Суммарное затраты,												
млрд. руб.	СССР		-	/0,5/	/1,7/	/3,7/	/6,3/	/8,5/	/12,4/	/17/	/22/	/28/
млрд. дол.	США		-	/0,1/	/0,3/	/0,6/	/1,0/	/1,4/	/2,1/	/2,9/	/3,8/	/4,7/

2.3. Затраты в % к нац. доходу	СССР		-	/0,9/	/2,0/	/3,0/	/3,6/	/4,1/	/4,6/	/5,0/	/5,4/	/5,6/
	США		-	/0,08/	0,14/	/0,19/	/0,24/	/0,22/	/0,35/	/0,37/	/0,38/	/0,44/
2.4. Суммарные затраты в % к суммарному доходу	СССР		-	/0,9/	/1,5/	/2,0/	/2,5/	/2,6/	/3,0/	/3,3/	/3,7/	/4,0/
	США		-	/0,8/	/0,1/	/0,05/	/0,17/	/0,18/	/0,22/	/0,26/	/0,39/	/0,27/
3. Результаты												
3.1. Разведанные запасы урана в рудах тыс. т.	СССР	[1]	-	0,35	0,37	1,4	2,5	4,0	5,5	-	-	-
3.2. Добыча урана, тыс. т.	СССР	[1]	-	0,015	0,11	0,34	0,63	1,3	2,1	-	-	-
3.3. Произ-во плутония, кг/г.	СССР	[25]	-	-	-	$1 \cdot 10^{-8}$	7	16	55	121	350	505
3.4. Суммарное кол-во Pu, кг.	СССР	[25]	-	-	-	-	-	-	100	200	500	1100
	США	[26]	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
3.5. Суммарное кол-во ядерных боеприпасов, шт.	СССР	[27]	-	-	-	-	-	1	5	25	50	120
	США	[27]	-	-	-	-	2	9	13	50	250	350
3.6. Суммарное кол-во ядерных боеприпасов, млн. т. тротил. экв.	СССР	[28]	-	-	-	-	-	0,02	0,1	0,5	3	8
	США	[28]	-	-	-	-	0,04	0,25	0,4	2,0	20	77
3.7. Число ядерных взрывов	СССР	[29]	-	-	-	-	-	1	0	2	5	9
	США	[29]	-	-	-	-	1	2	0	3	0	0
3.8. Средняя мощ. ядерного боеприпаса, тыс. т. тротил, экв.	СССР		-	-	-	-	-	/20/	/20/	/20/	/60/	/70/
	США		-	-	-	-	/20/	/30/	/30/	/40/	/80/	/220/

* — величины без скобок — литературные данные, величины в скобках — оценочные данные авторов, полученные экстраполяцией литературных данных.

Таблица 2

Потребление некоторых продуктов в Атомном проекте СССР в 1948 г.

Продукт	Производство [55]	Потребление [34]	Удельное потребление %
Прокат черн. мет., тыс. т	14219	270	1,9
Лесоматериалы, млн. куб. м	65	1,2	1,8
Цемент, тыс. т	6400	380	5,9
Каменный уголь, млн. т	208	1,05	0,5
Электроэнергия, млрд. кВ·ч	66,3	2,7	4,1
Автомашины, тыс. шт.	197	4	2,0
Средняя величина удельного потреб.			2,7

ЛИТЕРАТУРА

1. **Круглов А.К.** Как создавалась атомная промышленность в СССР, М.ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1994

2. **Негин Е.А., Голеусова Л.П., Куличков Г.Д., и др.** Советский атомный проект. Н. Новгород — Арзамас-16, изд. "Нижний Новгород", 1995

3. Создание первой советской ядерной бомбы. Под ред. В.Н. Михайлова, М., "Энергоатомиздат", 1995

4. **Круглов А.К.** О роли М.Т. Первухина и Л.П. Берии в создании ядерного оружия и атомной промышленности. Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии. 1995, N11-12, с. 52-56

5. ВНИИНМ — 50 лет. Сборник под ред. Ф.Г. Решетникова и др. изд. ВНИИНМ, 1995

6. Страницы истории ВНИИНМ. Воспоминания сотрудников, М. ВНИИНМ, 1994

7. Бомба. Журналисты Студии "Некос". "Русские сенсации". М. ИздАТ, 1993

8. У истоков советского атомного проекта: роль разведки.1941-1946 гг. Вопросы истории естествознания и техники, 1992, N3,с.97-134

9. **Иванов Н.И.** Первый ядерный заряд. Доклад на семинаре "История советского атомного проекта", М. ВНИИНМ, 1996

10. **Белоус В.С.** США: ядерные когти. Воениздат, 1986

11. **Кочарянц С.Г., Горин Н.Н.** Страницы истории ядерного центра Арзамас-16. Арзамас-16. ВНИИЭФ. 1993

12. **Жучихин В.И.** Первая атомная. Записки инженера-исследователя. Русские сенсации. Некос. М., 1993

13. **Р. Лэпп.** Новая сила. Об атомах и людях. М. ИЛ. 1954.

14. Мир капитализма. М. Издат. политической литературы. 1965

15. Народонаселение. Энциклопедический словарь. М., изд. "Большая Энциклопедия", 1994

16. Statistical Year book 1958. United Nations publications

17. Народное хозяйство за 60 лет. М. изд. "Статистика", 1977.

18. **Томас Б. Кохрен, Роберт С. Норрис, Олег Бухарин.** Создание русской бомбы. От Сталина до Ельцина. Вествью Пресс, Боулдер, Сан-Франциско, Оксфорд. 1995

19. **Смит С.**, Воспоминания, связанные с металлургией в Лос-Аламосе 1943-1945 гг. Jornal of Nuclear Materials 1981, N100.

20. The Bulletin of the atomic scientists, 1989, N9, p.53

21. The Bulletin of the atomic scientists, 1989, у45, N10, p.53

22. The Bulletin of the atomic scientists, 1995, май-июнь, цит. по Бюлл. центра общ. информ. по атомной энергии, 1996, N1, 34

23. The Secret history of the atomic bomb

24. Отчеты НИИ-9 (ВНИИНМ) по НИР и ОКР за 1945-1953гг., список. Составитель Р.Б. Котельников, М., ВНИИНМ, 1996

25. СССР. Энциклопедический справочник. Изд. "Большая Советская Энциклопедия", М., 1982

26. **Дж. Боффа.** История Советского Союза, М., 1990. Т.2, с. 245

СЕКЦИЯ 3
СОЗДАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ведущие Ф.Г. Решетников, С.С. Якимов **Ученый секретарь К.Г. Ткач**

СОВЕТСКИЙ АТОМНЫЙ ПРОЕКТ И НЕХВАТКА УРАНА. ДОБЫЧА УРАНА В ВОСТОЧНОЙ ГЕРМАНИИ И В ЧЕХОСЛОВАКИИ ПОСЛЕ 1945 Г.

А. Хейнеман-Грудер

В моём сообщении мне хотелось бы обратить внимание на три проблемы:

Во-первых — организационные и административные решения, составившие основу добычи урана в советско-оккупационной зоне Германии и Чехословакии с 1945 г.

Во-вторых — значение добычи урана в Германии и Чехословакии для успеха создания атомного проекта Советского Союза.

В-третьих — значение принудительных работ и систем лагерей для реализации атомного проекта.

В научных исследованиях, проведенных до сих пор, преобладают научно-технические, административные и политически-стратегические аспекты. По моему мнению, для изучения советского атомного проекта следует уделить должное внимание социальной истории рабочей организации, а именно, взаимосвязи между атомным проектом и системой архипелага ГУЛАГ.

В моем сообщении о добыче урана в Саксонии я опираюсь прежде всего на сборник статей, изданный берлинским историком Райнером Карлшем. Я принимал участие в этом проекте. Несмотря на исследования, проведенные в Германии и в США за последние годы, наши знания о

соотношении между зарубежными и советскими источниками урана до сих пор весьма ограничены.

В начале советского атомного проекта в 1942 г. СССР располагал мизерным количеством металлического урана. Урановые руды находились, прежде всего, в шахтах Табошары в Центральной Азии. Однако, эти урановые руды были чрезвычайно низкой концентрации. Атомному проекту грозила бы значительная задержка, если бы не было найдено решение урановой проблемы. В начале 1943 г. Игорь Курчатов располагал незначительными количествами урана, и они были сомнительной чистоты. Имевшееся в наличии количество урана было гораздо меньше тех от 50 до 100 метрических тонн, которые Курчатов считал необходимыми для пуска реактора, и к тому же было не ясно, когда и этот уран станет доступным.

Дмитрий Щербаков писал в одном меморандуме в 1943 г., что центрально-азиатские урановые руды были только частично исследованы. Он предложил программу по розыску урановых месторождений. После обнаружения урановых руд в Киргизии Госкомитет по геологии создал в октябре 1943 г. комиссию по поиску урана. Однако, еще в мае 1944 г. академик Вернадский посчитал нужным обжаловать от имени Президиума Академии наук перед Госкомитетом по геологии затяжки в работе по добыче урана. Нарком по цветным металлам получил в 1943 г. заказ как можно скорее предоставить 100 метрических тонн урана. Но неточное определение сроков могло означать годы промедления. В связи с этим Советское правительство обратилось в январе 1943 года к американской администрации ленд-лиза с просьбой предоставить 10 кг металлического урана и 100 кг урановой окиси и, соответственно, равное количество нитрата урана. Весной 1943 года советская комиссия по закупкам снова обратилась к американцам с просьбой предоставить дополнительно 220 кг урановой окиси и нитрата урана. США поставили заказанный материал, а в апреле 1943 г. дополнительно поставили 10 кг металлического урана. Можно предположить, что лабораторный этап советского атомного проекта в значительной степени зависел от американских поставок урана по линии ленд-лиза. Только в конце 1944 г. лаборатория Зинаиды Ершовой смогла предоставить один килограмм металлического урана из отечественной продукции, что составляло мизерное количество, не достаточное для пуска реактора.

В.В. Гончаров, который работал с 1943 г. инженером-химиком в Лаборатории № 2, пишет, что Лаборатория располагала в 1945 г. 90 кг урановой окиси и 218 кг металлического уранового порошка и что эти ресурсы пришли исключительно из немецких месторождений. Это означает, что вторым источником по доставке урана, который стал решающим до конца сороковых годов, явилась Германия.

В сентябре 1945 была создана Спецкомиссия под руководством П.Я. Антропова, одного из заместителей Бориса Ванникова (начальника Первого управления по атомному проекту), по ускорению добычи урана в Центральной

Азии. Кроме известной шахты в Тюя-Муюне (Табошары), созданная комиссия обнаружила уран в Уйгарсае, Майли-Сае и на других казахских территориях. И только в конце 1947 г. советское Министерство геологии отправило специальные экспедиции на поиски урана. В конце 1948 г. началась добыча урана в Жёлтых Водах в регионе Кривого Рога на Украине, в Силламяэ (Эстония), в окрестности Сланцев Ленинградской области, в районе Пятигорска на Кавказе и, наконец, в Восточной Сибири на реке Колыма. С 1948 года началось производство урана из тория, который был получен как экстракт при переработке монацита.

С продвижением советских войск в глубь Восточной Европы начались систематические поиски урановых руд на оккупированных территориях. Советские войска освободили Болгарию осенью 1944 года. Автор вышеупомянутого сборника Павел Кныжевский упоминает Распоряжение № 7408 Госкомитета обороны СССР от 27 января 1945, в котором говорилось о добыче урана в Болгарии. Недалеко от города Буково в Болгарии с конца 1945 года началась добыча урана для Советского Союза. Польские рудники также добывали с 1947 года уран для СССР. Однако, болгарские и польские рудники оказались намного беднее, чем восточногерманские и чешские месторождения, как это уже было отмечено в одном из меморандумов ЦРУ 1951 года.

Уже в конце марта 1945 года советское правительство потребовало от чешского правительства, только что вернувшегося из лондонской эмиграции, подписать секретный договор о добыче урана в Чехословакии. Советской стороне хотелось обеспечить себе исключительный контроль над самым старым месторождением урана в Европе около Яхимова (Иоахимсталь) в Чехословакии. Еще перед подписанием договора от 23 ноября 1945 года с правительством Бенеша в Праге советские войска оккупировали 13 сентября три рудника около Яхимова и начали подготовительные работы по расширению добычи урана.

Госкомитетом обороны СССР был издан 20 августа 1945 года совершенно секретный указ, который предусматривал создание Спецкомитета по ускорению добычи урана. Для добычи урана в Болгарии уже была создана совместная советско-болгарская компания. По этой модели строился и секретный договор между Чехословакией и СССР о добыче урана в регионе Яхимова.

Урановый рудник в Яхимове на земле Богемия производил до 1938/39 годов примерно 20 метрических тонн урана в год, но он был закрыт во время войны. Уже в начале июля 1945 года этот рудник был расконсервирован, однако, сначала только под чешским руководством. Согласно секретному межгосударственному договору, подписанному в ноябре 1945 года, советская сторона должно была получить 90% добытого урана, а чешская только 10%. В конце 1945 года только 237 человек работали в рудниках Яхимова. Благодаря эксплуатации немецких военнопленных, число рабочих к 1947

году выросло до 3742 человек. После освобождения немецких военнопленных с конца сороковых годов все чаще в качестве рабочей силы использовались заключенные. Яхимов был под двойной советско-чешской администрацией, что вызвало немало проблем. В частности, НКВД контролировал советских сотрудников.

Рудники в Яхимове производили к 1945 году 30,84 тонн урана (однако, большая часть этого материала была наземного происхождения). В 1946 году было добыто 14,5 тонн, в том числе 3,5 тонны были добыты из других месторождений. В 1947-ом году 49,1 тонн урана были вывезены в Советский Союз, причем из этого общего количества 44,7 тонн были только что добыты. В 1949 году производство урана увеличилось до 102 тонн урана в год, причем 84,1 тонны были добыты в этом году. В 1949 году примерно 14 000 рабочих трудились в 28 шахтах и добыли 147,2 тонн урана. К 1953 году число рабочих в Яхимове выросло до 56 800 человек.

Урановая доля в руде из Яхимова была весьма незначительна, в среднем она составляла только 0,04%. Большая часть тех 36 тонн урана, с помощью которых совершился пуск первого советского реактора, была доставлена из шахт Яхимова. В первой цепной реакции, осуществлённой в Советском Союзе 25 декабря 1946 г., уран, полученный из советского сырья, использовался лишь в незначительной мере. Восточногерманские и чешские рудники были решающими источниками добычи урана для первого советского реактора.

Американцы сделали все возможное, чтобы уменьшить урановые трофеи в зоне Германии, оккупированной советскими войсками. Так, например, 612 "летучих крепостей" бомбардировали 15 марта 1945 г. завод Auer-Gesellschaft в Ораниенбурге, чтобы урановая продукция не попала в советские руки. Военный начальник проекта "Манхэттен" Лесли Гровс и подчинённая ему миссия Алсос старались контролировать все немецкие урановые месторождения, включая те, которые были под немецким контролем на оккупированных территориях (особенно в Бельгии). Американцам уже не удавалось скрывать технологию атомной бомбы от советских ученых, поэтому они хотели по крайней мере обеспечить собственный контроль над урановыми рудниками, чтобы таким образом гарантировать так называемый "pax americana".

К удивлению и радости советских войск, несмотря на тяжёлые бомбардировки, им удалось обнаружить на территории Auer-Gesellschaft несколько тонн довольно чистой урановой окиси (чуть ли не 100 тонн) с техническими описаниями, договорами и технологическими деталями. Был подробно допрошен бывший директор завода Auer-Gesellschaft в Ораниенбурге, который потом и с американской спецслужбой "поделился" той информацией, которой он располагал. Плавильный цех производства урана в Штадтилме оказался тоже в советских руках, равно как и урановые кубики, и несколько тонн металлического уранового порошка (найдены в Райнберге). 25 следующих

тонн уран-оксида и других урановых руд были найдены специально созданными для поиска урана группами[1] в различных шахтах городов Ауэ, Аннаберг, Бернстайн, Фрайберг, Фрайталь, Иоганнгеоргенштадт, Мариенберг, Ной Стэдтель, Нидершлема, Обершлема, Олбернхау, Шнееберг, Шварценберг и Цвиккау.

С помощью внешней разведки и на основании докладов немецких учёных советское правительство располагало уже в конце войны информацией о наличии урановых рудников в Саксонии. Уже в начале июня 1945 года советская группа геологов под руководством профессора Филатова, вместе с группой немецких геологов, отправилась в Германию с целью обследования урановых месторождений на оккупированной советскими войсками территории. Ни американская армия, оккупировавшая до июня 1945 года Саксонию, Тюрингию и Саксонию-Анхалт, ни советская армия, оккупировавшая затем эти территории, не имели представления о потенциале уранового месторождения в Ерцгебирге. Рудникам в регионе между городами Ауэ, Иоганнгеоргенштадт и Аннаберг суждено было очень быстро перерасти в территорию добычи мирового масштаба и играть ключевую роль в советском атомном проекте.

Саксонское урановое месторождение могло быть разведано только после выхода американцев. В августе 1945 года в Саксонию прибыла вторая геологическая экспедиция под руководством профессора Крайтера. Экспедиция Крайтера посетила прежде всего шахты, принадлежавшие месторождениям саксонского завода, а именно, рудники в Танненберге, Шнееберге, Иоганнгеоргенштадте и Фрайтале. Официально это называлось "поиски вольфрама советскими геологами". В действительности шла речь исключительно о радиоактивном элементе. Вслед за этим советские подразделения захватили территории, на которых находились месторождения завода, и начали разработку урана в окрестности Иоганнгеоргенштадта, а осенью 1946 также вблизи города Шнееберг. С ноября/декабря 1945 г. под неукоснительным советским контролем началась систематическая разработка урановых месторождений завербованными вскоре немецкими горнорабочими, число которых составило 25 000. В начале 1946 года советским НКВД были конфискованы оба старых урановых завода "Vereinigt Feld im Fastenberg" и "Schneeberger Bau".

До мая 1947 года правовые основы урановых разработок в советской оккупированной зоне были не ясны, и только к этому времени постановлением Совета Министров СССР было учреждено Акционерное общество "Висмут", заседание которого состоялось в Москве. 8 мая 1947 года

[1] Генерал-полковник Серов, один из замов Берии, был шефом НКВД в Германии, и ему была подчинена группа выдающихся советских геологов. В начале июня 1945 года была создана команда для поиска урана. Руководство этой командой принял в июне 1946 года генерал-майор НКГБ Андрей Михайлович Мальцев. Геологическая группа нашла постоянный опорный пункт в Горной академии города Фрайберг.

месторождения в Саксонии были официально национализированы. Приказом № 128 Советской Военной Администрации Германии от 26 мая 1947 года горные владения Иоганнгеоргенштадт, Шнееберг, Обершлема, Аннаберг, Лаутер и Мариенберг также, как и обогатительный комбинат города Пехтелсгрюн, перешли в собственность СССР в качестве репарации. В отличие от многочисленных советских акционерных обществ, которые подчинялись Центральному имущественному комитету в Берлин-Вайсензее, Акционерное общество "Висмут" оставалось до 1956 года под непосредственным руководством советского Министерства обороны. Надзор над урановыми разработками вменялся в обязанности НКВД, так что и советская Военная Администрация могла иметь лишь приблизительные представления о деятельности Акционерного общества "Висмут".

Комендантом урановой добычи был генерал-майор НКВД Мальцев, он же с 1947 г. становится директором советского Акционерного общества "Висмут" в городе Ауэ. Сфера интересов АО "Висмут" распространилась с 1947 года на 13 округов земли Саксонии, и с 1950 г. примерно 40% жителей Саксония жили в так называемых "Висмут-зонах". Зоны "Висмут" получили статус секретности — "особый регион", или закрытая территория. Отдельные объекты, которые были исключительно подчинены советским офицерам, получили статус "почтового ящика", доступ к которым был возможен только с получением особо секретного разрешения. Автомобили, находящиеся в зоне "Висмут", имели отдельные особые номера. Фактически вся общая территория получила экстерриториальный статус так называемой 16-ой области ГДР.

К концу 1953 года возникло в общей сложности 53 завода и 8 обогатительных фабрик для производства урана. Расходы по урановым разработкам несла советская оккупационная зона, а потом уже только ГДР до самого окончания репарационных платежей в конце 1953 года.

В 1947 году было добыто примерно 150 тонн урановой руды, три года спустя добыто уже 1244 тонны. С 1946 года до конца 1953 года "Висмутом" поставлено 9500 тонн урановой руды. В 1950 году годовая норма добычи составила 1000 тонн, в 1952 г. — 2000 тонн, в 1953 г. — 3 000 тонн. По меньшей мере до 1949 года "Висмут" осуществлял важнейшие поставки урана для советского атомного проекта. По оценкам ЦРУ урановая добыча в Восточном блоке в 1950 году составила: 15% — Чехословакия, 4% — Болгария, 3% — Польша, 33% — СССР и 45% — ГДР. Большая часть урановой руды, которая была необходима для создания первой советской атомной бомбы, пришла, со всей вероятностью, из советской оккупационной зоны Германии- даже если мы до сих пор мало знаем о советских урановых шахтах.

Со всей советской оккупационной зоны было собрано горное оборудование для АО "Висмут". Сбор системы спецоборудования из всех регионов советской оккупационной зоны (в дальнейшем ГДР) привело к дефициту

в других сферах хозяйства. Для поднятия рабочей этики трудящихся в горных шахтах внедрялась система мер и мероприятий по повышению рабочего стимула. При возникновении острого дефицита рабочей силы советская Военная Администрация Германии приступила к принудительным мерам по обеспечению рабочей силы. По примеру Чехословакии и СССР, в ГДР был создан своего рода урановый архипелаг ГУЛАГ. Отказавшимся от указа работать в названной зоне грозили серьёзные санкции — вплоть до депортации в советские лагеря. В советской оккупационной зоне (и потом в ГДР) мания безопасности привела к массовому страху шпионского надзора. По необоснованному обвинению в шпионаже в Яхимове и в зоне "Висмут" было предано смертной казни неустановленное число рабочих.

Основными резервами рабочей силы явились военнопленные и депортированные из немецких восточных земель. По некоторым данным это число составило 80% от общего количества рабочих. С декабря 1946 года в шахтах "Висмута" трудились 10000 рабочих, в конце 1947 года их число выросло до 46000, в декабре 1948 года их число составило 100000, а в 1953 году общее число рабочих составило 133000. Первые два года приток рабочих состоял почти исключительно из групп людей, привлеченных принудительно; но с 1948 года число добровольцев значительно выросло.

С приростом рабочих с 1946 года возросла потребность в их обеспечении жильём и социальными услугами. Города в зоне "Висмута" не справлялись с новоприбывшим потоком рабочих сил, и люди были вынуждены перебиваться в деревянных бараках. С 1950 года правительство ГДР и правительство земли Саксонии выступило в защиту социальных интересов горных рабочих "Висмута". В 1952 году правительство ГДР заключило договор с Советской контрольной комиссией по обеспечению социальными, культурными и жилищными услугами "Висмут" — зоны. Но сфера влияния ГДР в зоне "Висмута" была очень ограничена из-за неясности подчиненности трудящихся (либо права жителей ГДР, либо прямое подчинение советским указам). На основе заключения межгосударственного договора АО "Висмут" с 1 января 1954 года переименовано в немецко-советское Акционерное общество. Однако сфера влияния ГДР не была расширена.

Рабочие условия в шахтах носили бесчеловечный характер, совершенно отсутствовала даже какая-либо защита от радиационного облучения. Работа в "Висмуте" по полному праву могла сравниться с каторжными работами в лагерях. Из-за ликвидаций документов рабочие были вынуждены продолжать изнурительную работу в зоне "Висмута". Спасение было только одно — бегство. Из-за отсутствия техники безопасности в шахтах регулярно погибали люди, и этому уделялось не больше внимания, чем защите от радиационного облучения, имевшего поистине катастрофические последствия. Условия работы советских солдат ничем не отличались от условий немецких рабочих. С развитием механизации к середине 50 годов был значительно сокращен

рабочий штат (между 1962 г. и 1989 г. число рабочих колебалось от 43000 до 46000).

В заключение я хотел бы отметить последствия урановой добычи в зоне "Висмута", полученные в наследство. АО "Висмут" в 1990 г. по добыче урановой руды занимал третье место в мире. Правительство ФРГ выделило 13 миллиардов ДМ на ликвидацию деятельности "Висмута", во-первых — на уничтожение урановых холмов и болот, во-вторых — на очищение грунта от урана, радия и мышьяка. Радиоактивные болота в окрестности Цвиккау и обогатительные фабрики в Кроссене и Селингштедте являются до сих пор жизнеопасным наследием создания ядерного проекта. Дезактивация зоны "Висмута" является на сегодняшний день для ФРГ самым трудным и дорогостоящим экологическим мероприятием. Что касается человеческого фактора, то, опираясь на данные 1991 года, число пострадавших в зоне Висмута с 1955 по 1990 г. составило: 449 погибших шахтеров, 14600 пострадали от силикоза и примерно 7000 от рака лёгких. Число жертв за период с 1946 по 1955 год до сих пор ещё не установлено, но, по всей вероятности, оно значительно выше опубликованных ранее данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Beleites, Michael,** Altlast Wismut. Ausnahmezustand, Umweltkatastrophe und das Sanierungsproblem im deutschen Uranbergbau, Frankfurt/Main 1992

2. **Bode, Rainer, Jens Kugler (eds.), Seilfahrt.** Auf den Spuren des Sachsischen Uranerzbergbaus, Haltern 1990

3. **Buss, Otto**, Deutsche Kriegsgefangene im Uranbergbau von Sankt Joachimsthal 1945-1950, Bonn 1958 (Schriftenreihe des arztlich-wissenschaftlichen Beirates des Verbandes der Heimkehrer Deutschlands e.V. II)

4. **Douglas, Holger, Thomas Kleine-Brockhoff,** Heiße Erde aus dem Kalten Krieg. Krankenakten beweisen: Tausende ostdeutscher Kumpel starben fur die sowjetische Bombe, in: Die Zeit Nr. 24, 24. V-7.6.1991

5. **Engeln, Ralf,** Die industriellen Beziehungen im Uranbergbau der AG Wismut, in: Rainer Karlsch, Harm Schroter (eds.), "Strahlende Vergangenheit". Studien zur Geschichte der Wismut, St. Katharinen 1996

6. **Grishin, Nikolai,** The Saxony Uranium Mining Operation ("Wismut"), in:Robert Slusser (ed.), Soviet Economic Policy in Postwar Europe, New York 1953

7. **Groves, Leslie R.,** Now it can be told. The Story of the Manhattan Project, New York 1975

8. **Heinemann-Gruder, Andreas,** Die sowjetische Atombombe, Munster 1992

9. **Helmreich, Jonathan E.,** Gathering Rare Ores: The Diplomacy of Uranium Acquisition 1943-45, Princeton 1986

10. **Holloway, David,** Stalin & the Bomb, New Haven/London 1994

11. **Irving, David,** Der Traum von der deutschen Atombombe, Gutersloh 1967

12. **Kaden, Mario,** "Erz fur den Frieden"? Einige Aspekte der bergbaulichen Tatigkeit der SAG/SDAG "Wismut" im Landkreis Annaberg, Annaberg-Buchholz 1995 (non-published paper)

13. **Kaplan, Karel, Vladimir Pacl, Jachymov,** Ceske Budovice 1993

14. **Karlsch, Rainer**, Allein bezahlt? Die Reparationsleistungen der SBZ/DDR 1945-53, Berlin 1993

15. **Karlsch, Rainer**, Der Aufbau der Uranindustrien in der SBZ/DDR und CSR als Folge der sowjetischen "Uranlucke", in: Zeitschrift fur Geschichtswissenschaft 1/1996

16. **Karlsch, Rainer**, Die Anfangsjahre des Uranbergbaus, in: Der Anschnitt. Zeitschrift fur Kunst und Kultur im Bergbau, 6/1995, 178-189

17. **Knyschewskij, Pawel Nikolaewitsch**, Moskaus Beute. Wie Vermogen, Kulturguter und Intelligenz nach 1945 aus Deutschland geraubt wurden, Munchen 1995

18. Mohring, Caroline, Die Folgen des Uran-Bergbaus sind noch nicht beseitigt, dennoch hofft die Region, in: Frankfurter Allgemeine 2.5.1996, 5

19. **Naimark, Norman M.**, The Russians in Germany: A History of the Soviet Zone of Occupation, 1945-1949, Cambridge/Mass. 1995

20. **Naimark, Norman**, Die sowjetische Militaradministration in Deutschland und die Frage des Stalinismus, in: Zeitschrift fur Geschichtswissenschaft 43, 1995, 293-307

21. **Paul, Reimar**, Das Wismut Erbe. Geschichte und Folgen des Uranbergbaus in Thuringen und Sachsen, Gottingen 1991

22. **Shimkin, D.B.**, Uranium Deposits in the USSR, in: Science 21.1.1949, vol.109, 58-60

23. **Zeman, Zbynek**, Der tschechoslowakisch-sowejtische Uranvertrag vom 23. November 1945, in: Rainer Karlsch, Harm Schroter (eds.), "Strahlende Vergangenheit". Studien zur Geschichte der Wismut, St. Katharinen 1996*

THE CZECHOSLOVAK URANIUM AND THE SOVIET A-BOMB

F. Janouch

A long time ago I promised to the organizers of this Conference a contribution under this particular title. When I started to work on it I realized that my talk might produce more questions than it actually answers. The answer on the most relevant question — would it be possible to make the first Soviet atomic bomb already so early as in 1949 without an access to uranium from Czechoslovakia — could be answered, if at all — only by the Soviet scientists and politicians and only by digging deeply in the Soviet archives.

Nevertheless I decided to share with you the little I discovered in my search, both in literature and in archives, and also some of my personal reminiscences.

CZECHOSLOVAK URANIUM

The problem of the Czechoslovak uranium ores was one of the most sensitive topics in the history of the post-war Czechoslovakia. The more sensitive since it was for decades covered by secrecy, legends, rumors.

Let me first remind you, that the Jochymov (Joachimstal) mines were probably the only uranium mines, open and exploited in Europe as early as at the end of the last century. One can find almost in every textbook on the physics of atomic nucleus that the first radium was isolated by Maria Curie-Sklodowska and Pierre Curie from Jochymov ores. The Jochymov mines and the uranium ores (smolinec) were so present from the very beginning of the new epoch marked by the discovery of radioactivity.

Uranium ores were in fact by-products left over from mining of different precious metals: silver, nickel, cobalt, bismuth etc. In 20-30-40 years they were used to produce radium for medical purposes.

SOVIETS ARE SHOWING INTEREST FOR CZECHOSLOVAK URANIUM

Immediately after the end of World War 2 the mines were sized by a special unit of the Red Army. The Soviets started to exercise, without any legal ground, control over the mines and restricted access to the mines even for persons employed there.

Already in August, as reported to the Czechoslovak Defense Ministry by the local Czechoslovak military office in Karlovy Vary, the mines were visited by general Michajlov and groups of Soviet specialists.

When the local Czechoslovak authorities asked what to do with these visits, they got a very clear answer and from the very top. The Czechoslovak Prime Minister Fierlinger's instruction was: DO NOTHING!

On October 2, 1945 the same question was directed to the Prime Minister office by the Czechoslovak Foreign office. The reply was the same.

The reason was that already in August 1945 first contacts on Czechoslovak uranium were initiated by Soviets on highest governmental level. They were conducted directly by the Prime Minister Fierlinger with a full approval of President Bene.

CZECHOSLOVAK-SOVIET URANIUM "AGREEMENT"

On September 17, 1945 the Prime Minister passed to the Soviet Ambassador Zorin the Czechoslovak point of view: the uranium ores are an exclusive property of the Czechoslovak Republic. The government of the Czechoslovak republic was ready to make a commitment to supply a certain amount of uranium to the Soviet Union. The mines, however, were to be under a full Czechoslovak jurisdiction.

Such an answer was clearly unacceptable for Soviets. On September 26, 1945 the Soviet negotiator Bakulin presented at the meeting with the Prime Minister Fierlinger and three other Czechoslovak Ministers (Interior, Defense and Industry) another Soviet proposal: to set up a joint Soviet-Czech uranium venture. It might sound as a joke, but the Soviet Union was ready to "provide" this joint venture the capital invested into the mines by Germans during the war.

The Soviet negotiators requested further that the entire production of uranium must be sent to the Soviet Union. They were, however, ready to accept to share the production of radium between both parties fifty by fifty.

The proposal about the joint venture was firmly rejected by the Czechoslovak side. The Czechoslovak negotiator were arguing that Czechoslovakia is going to nationalize its industry without any participation of foreign capital and setting up a new company with Soviet capital would be politically impossible.

The meeting with Bakulin, however, disclosed for the Czechoslovak ministers importance the Soviets were paying to uranium.

According to the Czechoslovak minutes of the meeting the Soviet colonel Aleksandrov told:"...the Soviet Union is going to break the US monopoly on

nuclear weapons. They need a strategic reserve of uranium... uranium is today the most important strategic raw material... The SU is going to produce from the Soviet and Czechoslovak uranium the same bomb as produced in USA..."

The Soviet negotiators estimated at that time the reserves of uranium ores at Joçhymov to be 1000 t (to be compared with 2700 t in Belgian Congo and 6-7.000 t in Canada). As we will see later these figures were grossly underestimated.

October 6, 1945 Bakulin presented to the Prime Minister Fierlinger a new and a very categorical demand: the mines must be under the Soviet jurisdiction, the geologic survey in Czechoslovakia must be performed by Soviet experts and the whole uranium production must be shipped to the Soviet Union.

The high-level pressure was exercised even in Moscow. On October 18, 1945 the Soviet Foreign Minister Vyacheslav Molotov summoned to him a Czech diplomat Hnнzdo and told him that "the Soviets are interested mainly in uranium ores, which has a great value for their war industry".

After two weeks of intensive negotiations Molotov agreed to the Czechoslovak conception: the mines can remain a Czechoslovak property but will have to cooperate closely with the Soviet authorities.

Another Soviet categorical demand was that the whole production of uranium will go to the USSR. President Benessh requested first that half of its will remain in Czechoslovakia. Later he was forced to make a concession even in this point.

This attitude of Soviets seems to indicate that in these crucial years the Soviet atomic bomb project was short of uranium.

November 21, 1945 Moscow accepted the Czechoslovak proposal with the provision that during the first five years not more than 10% of uranium ores will remain in Czechoslovakia. I am not sure if this condition was fulfilled. I remember, namely, that the only laboratory doing nuclear research in Czechoslovakia, experienced at the end of forties enormous difficulties in obtaining a few kilograms of uranium ores for a pure scientific research.

The Soviet-Czechoslovak uranium agreement was approved at the closed meeting of the Czechoslovak Government on November 21, 1945. The full text of the agreement was even not presented to the government (Fig 1.)

The very same day the Soviet negotiators Bakulin and Alexandrov rushed to the seat of the Government in Prague and signed the protocol.

All these negotiations were so secret that practically nobody in Czechoslovakia knew about the Agreement.

Only so it could happen that just a few days later, November 25, 1945 a meeting took place at the Czechoslovak State Planning commission, discussing the possibilities of using uranium for the energy production and deciding to start preparation for a production of metallic uranium, education of specialists in this field and following up the world development in the field of nuclear energy. The minutes of this meeting were found in archives and I was both amused and proud about the feeling of perspective shown by at least some Czechoslovak specialists.

Dohoda vlády ČSR a SSSR a protokol z 23. listopadu 1945 o těžbě uranové rudy v ČSR a o dodávkách do SSSR

Fig. 1. Copy of the Top Secret agreement between the Governments of Czechoslovakia and USSR from November 23, 1945 and attached protocol, signed by Minister H. Ripka and I. Bakulin

The Czechoslovak-Soviet uranium deal was so secret that not even the Czechoslovak Foreign Minister Jan Masaryk was informed about it. This resulted in a diplomatic *faux pas* at the UN conference in London on January 16, 1946 when Masaryk made the following statement: "I am addressing you with a certain special knowledge of this problem, since our mines in Jochymov were among the first supplying mankind radium for medical purposes...Allow me to express here, with all my humbleness but also with a deep conviction, hope, which you certainly all share — that even a small piece of uranium, produced in Czechoslovakia, will never be used for destruction in large. We, the Czechoslovak citizens wish that our radium would have serve a different goal: to increase the living level — for a more intensive and more safe life. To this goal we want to use our radium mines and we ask you to help us in this."

It is not difficult to imagine that the speech of the Czechoslovak Foreign Minister created, mildly speaking, certain tensions in the Soviet-Czechoslovak relationship. The Soviets, however, were not blowing this episode up for reasons to be easily understood — the whole project was considered to be a top secret one.

According to the Agreement the Czechoslovak uranium industry was controlled by a four-member commission — with two representatives from each country.

Everything connected with uranium mining was classified as a top secret — from Czechoslovak side it was under a direct supervision of the Prime Minister Klement Gottwald — he retained his role even after he became in 1948 the President of the Republic (Fig.2).

Following the Communist take over in 1948 practically all the leading positions in the Czechoslovak uranium industry were taken by Soviet experts and advisers: they exercised a full control over the whole uranium production. More and more specialists were sent to Czechoslovakia.

It is difficult to estimate the total number of Soviet experts in this field — but e.g. in 1955 they were as many as 724 persons. This situation lasted until 1956 when Soviets suddenly decided to withdraw all their experts from the uranium enterprise.

Due to the shortness of time I am unable to describe all the turns and developments in mining and shipping the Czechoslovak uranium to the SU.

THE URANIUM RESERVES IN CZECHOSLOVAKIA

The intensive geologic survey performed on the territory of the whole country discovered new and rich locations with uranium ores. This development can be illustrated by several examples. In 1946 the discovered reserves of uranium ores for Jochymov mines were 100 t (calculated for metallic uranium), in 1950 they were already 800 t.

In 1963-64 the discovered reserves were for C1 9092 t and for C2 7830 t for the whole Czechoslovakia but even these figures were not representing the last word.

VLÁDNÍ ZMOCNĚNEC

PŘÍSNĚ TAJNÉ

VLÁDNÍ ZMOCNĚNEC

PŘÍSNĚ TAJNÉ

Fig. 2. Copies of three reports, sent to the President K. Gottwald, on uranium mining (1950-53)

Table 1 gives some idea about the uranium ores mining between 1949 and 1953 (all figures in tons of metallic uranium).

Table 1

URANIUM ORES MINING BETWEEN 1949 AND 1953

YEAR	Original plan	Increased plan	Actual production
1949	120	126	281,3
1950	220	235	281
1951	360	432	527
1952	750	750	816
1953		1200	1200

Fig 2., reproducing top secret reports on uranium mining to President Gottwald, provides also some information about the metallic uranium production in 1950 and 1951. We can conclude that already early fifties the production expressed in tons of metallic uranium was exceeding 500 t/year. Comparing the data from Fig. 2. with those of Table 1 (with the plans for 1953 which were actually achieved) it seems to be reasonable to assume that Czechoslovakia was delivering up to 1000 tons of metallic uranium yearly — at least to the beginning of 60th before the richest mines were exhausted and the uranium production started to decline. This conclusion is not contradicting the information from (2), reproduced in the Table 2.

Table 2

PRODUCTION OF URANIUM
(in tons of metallic uranium)

YEAR	USSR	EASTERN EUROPE
1946	50	60
1947	129	210
1948	182	452
1949	278	989
1950	417	1640

PROBLEMS WITH THE CZECHOSLOVAK URANIUM INDUSTRY

The building up the Czechoslovak uranium industry was not without problems. The permanent Soviet pressure for increased production created financial problems for the Czechoslovak government especially in the critical years after the war.

The investments needed for opening new mines were enormous. They were so high that Czechoslovakia could simply not afford them in the existing economic situation. This problem was "solved" by Soviet "loans" to be paid back through uranium deliveries.

The plans and predictions for uranium production were, under a permanent pressure of the Soviets, only increasing and increasing. Already in 1948 the Soviets put as maximum goal 2000 t of uranium ores yearly which required investments of over 8.5 billions Ks and employment of over 60.000 workers. The profit of the Czechoslovak uranium industry was permanently questioned since the price the Soviets paid for uranium was rather low.

The largest problem was, however, how and where to get over 60.000 workers needed for mining and in other branches of the uranium complex. During the first years after the war Soviets "solved" the problem by using German prisoners of war in uranium mines. However, according to the international agreement, all the German prisoners from the World War II were to be released and leave Czechoslovakia in 1949[1].

The labor force problem was finally solved in a very specific communist way: the main source of labor force for the uranium mines became political prisoners concentrated in the Camps of Forced Labor (TNP).

In 1950-51, when shortage of miners threatened the building up of Soviet nuclear power, the Czechoslovak Ministry of Justice issued a special instruction and orders to prosecutors and judges to speed up the criminal procedures against the class enemies and to increase the number of persons sentenced — the organs of justice made a commitment to deliver to the uranium mines in 1953 5.500 prisoners in order to keep the uranium export on the "agreed" level (See Fig. 3).

The condition in concentration camps with prisoners working in uranium mines were horrible. However, even worse were the condition and labor safety in the mines. They can be illustrated by following figures in Table 3.

Table 3

CAUSALITIES AND FATALITIES IN URANIAN MINES

YEAR	CASUALTIES	FATALITIES
1951	1992	39
1957	3654	45

During the period 1950-1960 total number of casualties was 29880, including 439 fatalities.

These figures, however, don't include the delayed health consequences. The poor conditions in mines and an especially high radon concentration (up to one to two orders higher than the maximum allowed level) lead to a considerable number of cancers especially among the prisoners. I am, however, afraid that even the approximate illustrating figures will never become available.

[1] It should be reminded that the Red Army left Czechoslovakia already in December 1945 and it was difficult to explain why the German prisoners of war, captured by Soviet Army, should be stationed in Czechoslovakia.

Výtisk č.1??
~~Příloha čís.~~
Tajné!

STATISTICKÝ PŘEHLED - odsouzených dle druhu soudu a dle délky trestu ku dni 12.3.1952

/ rozdělení dle táborů /

TÁBOR	SKUT. STAV:	MIMO TÁBOR:	CELKEM:	STÁTNĚ BEZPEČNOSTNÍ: do 3 r.	od 3 r. - 10 r.	nad 10 r.	KRIMINÁLNÍ: do 1.r.	od 1-5 r.	nad 5 r.
ÚSTŘEDNÍ	775	12	787	72	166	156	124	210	59
BRATRSTVÍ	369	5	374	30	68	124	31	92	29
VYKM.I.	961	15	976	77	263	295	67	211	63
VYKM.II.	293	2	295	4	80	167	2	9	33
SVORNOST	582	4	586	32	153	209	30	105	57
MARIÁNSKÁ	398	-	398	30	124	92	15	104	33
ROVNOST	1222	10	1232	101	308	355	73	280	115
NIKOLAJ	604	9	613	66	113	141	72	153	68
ELIÁŠ II.	923	12	935	159	251	212	45	213	55
VRŠEK	204	3	207	25	28	13	41	81	19
PROKOP	2314	15	2329	242	360	566	380	618	163
LEŽNICE	735	8	743	63	191	222	57	160	50
SVATOPLUK	884	18	902	84	192	253	108	192	73
XII.	1734	24	1758	221	384	486	103	351	130
VOJNA	582	8	590	10	70	442	5	34	29
NEMOCNICE	43	-	43	6	11	14	3	9	-
CELKEM	12623	145	12768	1222	2762	3747	1236	2845	976
PROCENTNÍ POMĚR:			100%	9.6%	21.6%	29.3%	9.7%	22.4%	7.6%

V Praze dne 28. dubna 1952.

Velitel odboru V :-
por. V. Brudný v.r.-

Fig. 3. Looking for workers for uranium mines. Document from the Czechoslovak. Statistical survey of prisoners and their location in different labor camps. The prisoners are classified as enemies of state or normal criminals

The number of fatalities had also increased by prisoners, injured or killed during the attempts to escape from the concentration camps: during 1949-1959 at least 557 prisoners attempted to escape — at least 32 from them were killed.

The price paid by the people of Czechoslovakia for uranium to produce the Soviet nuclear bomb was, therefore, very high considered from all points of view.

URANIUM PRICE

The uranium price was subjected to many discussions. According to a widespread and lasting public opinion Czechoslovakia was loosing a great deal of money on uranium transaction with the Soviet Union. Although the archives are now more or less freely accessible, an economical analysis covering all the factors, including the costs of geological surveys, construction of new mines, building of factories for concentration of ores and their chemical processing, development of uranium prices on the world market, and finally the environmental damages caused by the chemical extraction of uranium by means of acids and the consequent waste disposal is very difficult to be made.

It seems, however, to be mostly certain, that Czechoslovakia, which was for decades a kind of a Soviet colony, was delivering uranium to the Soviet Union well under the production costs and well under the so-called world price. These doubts and suspicions were raised several times in publics in the more liberal periods of the modern history (1956, 1968, after 1989) but never answered in full satisfaction. The discussion in fact continues: quite recently I read in the former communist paper Pravo an article, arguing, without any new relevant arguments and data that the Soviet-Czech uranium deal was, after all, not so bad for Czechoslovakia.

During the first fifteen years, between 1945-1960, the richest uranium reserves were exhausted and Czechoslovakia lost its only strategic energy resource which would no doubt provide fuel for nuclear energetic certainly at least for many decades if not for hundred years to come.

CONCLUSIONS

The archive data available in the former Czechoslovakia did not allow to give a well-founded answer on the question about the role of Czechoslovak uranium in the first stage of the Soviet A-bomb project. Judging from the interest and from the pressure from the Soviet side to get the whole production of the Czechoslovak uranium at their disposal and from permanent demand to increase the uranium production one can conclude that a shortage of uranium could put the whole Soviet atomic bomb project under danger.

The situation certainly changed after the discoveries of uranium ores in different places of Soviet Union and also in the former DDR, Bulgaria and other places.

The existing Czechoslovak archive data, however, does not answer the main question: could the Soviet A-bomb be tested already in 1949 without the Czechoslovak uranium?

REFERENCES

1. **Kaplan Karel**, Jáchymovské doly, 1993
2. **Arkadij Kruglov**, Kak sozdavalas atomnaja promyŝlennost v SSSR, Moscow, 1994
3. **Rainer Karlsch**, Der Aufbau der Uranindustrie in der SBZ/DDR and CSR als Folge der Sowjetischen Uranlücke, Zeitschrift für Geschichtswissenschaft, 1, 1966, 5.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПЕРВОЙ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ ИЗ ОБЛУЧЕННОГО УРАНА

Е.И. Ильенко, Н.А. Абрамова

По признанию многих специалистов [1], радиохимическая технология выделения плутония из облученного урана является самой сложной и самой опасной частью уранового проекта. Эта же мысль звучит и в одной из первых книг, посвященных истории создания Манхэттенского проекта США [2]: "Разрешение многих химических вопросов было одним из наиболее замечательных достижений Металлургической лаборатории".

По-видимому, это же следует сказать о химической части и советского уранового проекта. При этом наиболее замечательным достижением, несомненно, были необычайно короткие сроки решения этой задачи.

В условиях современной техники средний срок создания радиохимического завода по практически известной и проверенной технологии определяется в 10 лет. В те времена проблема была решена за три года.

Три года прошло с того времени, когда РИАН (Радиевый институт Академии наук) официально получил задание на разработку технологии (декабрь 1945 г.), до тех пор, когда с радиохимического завода был выпущен первый плутоний (февраль 1949 г.), а еще через полгода плутония было достаточно, чтобы изготовить и испытать (29 августа 1949 г.) первую атомную бомбу.

Этот срок сопоставим со сроками выполнения аналогичных работ США, но американцы считали такой срок ни для кого более не достижимым [2, стр. 259]: "...никакая другая страна в мире не была бы способна на подобную затрату мозговой энергии и технических усилий".

Однако такой страной оказался Советский Союз, несмотря на то, что советские ученые работали в значительно более трудных условиях, чем

создатели Манхэттенского проекта. Если в США на решении этой проблемы были сосредоточены ресурсы богатой, благополучной страны и собрана мировая элита ученых, то Советский Союз был страной, разоренной войной, а его ученые практически отрезаны от мировой науки. Именно поэтому интересно проследить за ходом событий при решении такой сложной и трудоемкой задачи, как разработка радиохимической технологии в Советском Союзе.

Создание первой радиохимической технологии плутония было поручено Радиевому институту. А.К. Круглов [1] пишет: "РИАН был практически единственным институтом в стране, способным организовать выделение плутония из высокорадиоактивных материалов и очистить от радионуклидов уран в промышленных масштабах".

Почему это было так? В табл.1 приведены основные даты развития Радиевого института. К 1945 г. РИАН был готов к выполнению задания на разработку технологии выделения и очистки плутония.

В архиве Радиевого института хранятся документы — рабочие тетради, протоколы заседаний НТС РИАН, которые дают возможность проследить процесс создания технологии и ее осуществления в промышленном масштабе.

Таблица 1

РИАН В ДОПРОЕКТНЫЙ ПЕРИОД

1918-1922 гг.	Разработка технологии выделения радия из урановой руды и создание радиевой промышленности России (под руководством В.Г. Хлопина)
1922 г.	Организация Радиевого института (В.И. Вернадский,, В.Г. Хлопин)
1920-1930 гг.	Сложилась школа советских радиохимиков, главой которой был В.Г. Хлопин. Комплексные исследования явления радиоактивности: — законы поведения микроколичеств радиоизотопов в растворах, газах, расплавах, при осаждении, кристаллизации и др.; — радиоактивность как физическое явление; — методы анализа и радиометрии.
1937 г.	Пуск циклотрона РИАН
1939 г.	Начало изучения свойств продуктов деления урана
Начало 1945 г.	Разработка методов и первое выделение Pu из урана, облученного на циклотроне РИАН. Изучение свойств Np и Pu

Разработка технологии осуществлялась под общим руководством директора РИАН академика В.Г. Хлопина. Ему принадлежит и выбор основных методов химического выделения и очистки плутония и урана. Его первым помощником был член-корреспондент АН СССР Б.А. Никитин.

Работа началась с осмысления всех основных исходных позиций. На основании данных, полученных из Лаборатории № 2 АН СССР (впоследствии ИАЭ им. И.В. Курчатова, а ныне РНЦ "Курчатовский институт") Б.А. Никитин провел расчеты возможных количеств осколочных элементов в облученном уране. Было идентифицировано немногим более 25 различных

элементов от атомного номера 35 до 59. Вероятность образования каждой цепочки изотопов определялась согласно публикации [3]. Рассчитывалось также накопление плутония и целесообразное время выдержки блоков урана после изъятия их из котла до передачи на переработку. Была детально изучена литература по химии урана. В рабочих тетрадях Б.А. Никитина имеются рефераты из литературы за период с 1900 по 1940 годы.

Уже на стадии теоретической проработки возможной технологической схемы Б.А. Никитин предвидел многие трудности, которые могли стать на пути осуществления процессов:

- газоочистка: будет ли радиоактивный йод попадать в газовые выбросы из аппарата растворения урановых блоков?
- возможная адсорбция радионуклидов на стенках сосудов;
- возможные потери плутония при механическом захвате маточного раствора осадком или путем образования аномальных смешанных кристаллов;
- возможность регенерации использованных реагентов, очистка их от захваченных осколков;
- возможность адсорбционного захвата радиоэлементов осадками и стенками сосудов в зависимости от их коррозии.

Все эти соображения свидетельствуют о глубоком понимании особенностей поведения радиоизотопов в микроконцентрациях, а также принципов организации производства с радиоактивными материалами.

Наиболее перспективным для технологии В.Г. Хлопин считал уже хорошо изученный к этому времени прием сокристаллизации выделяемого радиоэлемента с соединениями элементов-носителей, т.е. способ, который был использован в технологии выделения радия из урановой руды.

Как равноценный рассматривался также метод экстракции несмешивающимися растворителями.

В процессах соосаждения естественным носителем для плутония в изучаемой системе был уран, присутствующий в системе в большом количестве и близкий по свойствам к плутонию.

Из различных возможных осадителей нужно было выбрать наиболее эффективный, т.е. обеспечивающий высокую полноту выделения и очистки плутония; реагент должен был быть также доступным в наших условиях и, по возможности, дешевым. В.Г. Хлопин предложил использовать ацетат натрия. Ацетатный метод соосаждения плутония с ураном уже раньше был использован в РИАН для выделения первых импульсных количеств плутония (33 имп/мин), полученных при облучении урана на циклотроне РИАН еще в начале 1945 года. Поэтому этот процесс в какой-то мере был уже изучен.

Предложенная В.Г. Хлопиным технологическая схема включала циклы окислительных и восстановительных осаждений натрий-уранилтриацетата с последующей доочисткой плутония от РЗЭ окислительным осаждением фторида лантана. Оба процесса — ацетатные и фторидные осаждения —

основаны на очистке плутония благодаря изменению его валентных состояний (рис.1). Каждый из этих процессов детально исследовался в лаборатории.

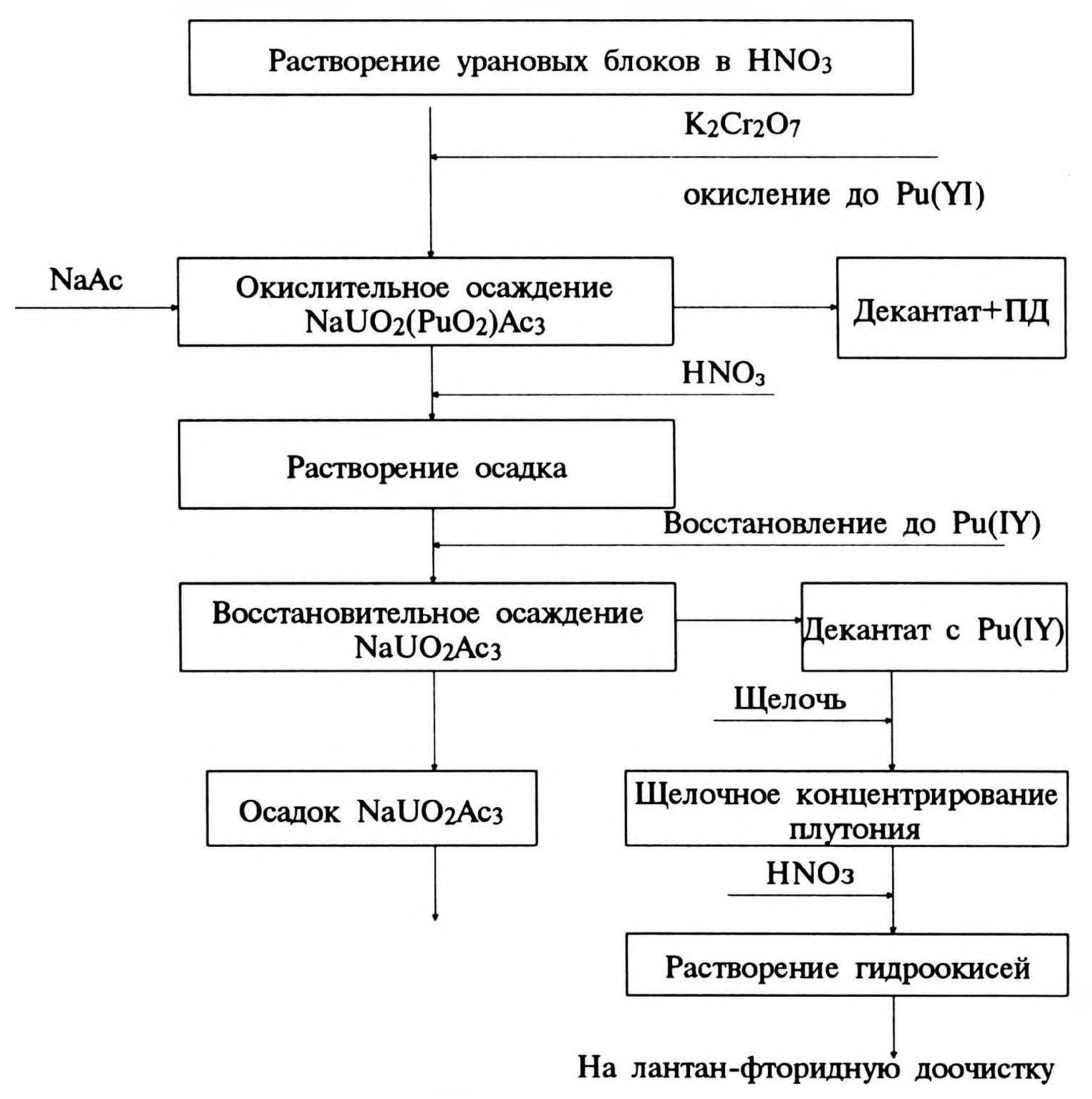


Рис. 1

Забегая вперед, нужно сказать, что лантан-фторидный метод оказался очень трудным для технологии, прежде всего, из-за сильной коррозии оборудования.

Отделение фторидной очистки на заводе приходилось часто останавливать, и тогда нагрузку этого цеха брало на себя опытное отделение эфирной очистки. Позднее лантан-фторидное отделение было закрыто, и завод перешел на цельноацетатную технологию. Но это было позднее (в начале 50-х годов).

С декабря 1945 г. в РИАН над разработкой разных вариантов технологии работали три бригады ученых:

1. Бригада академика В.Г. Хлопина, где его заместителем и помощником был А.П. Ратнер, разрабатывала ацетатно-лантанфторидную технологическую схему.

2. Бригада члена-корреспондента АН СССР А.А. Гринберга разрабатывала оксалатно-купфероновый метод и висмут-фосфатную схему с регенерацией урана (см. рис. 1).

3. Бригада члена-корреспондента АН СССР Б.А. Никитина — экстракционную технологическую схему с диэтиловым эфиром в качестве органического растворителя.

Кроме того, вне этих бригад с 1946 г. работала лаборатория профессора Б.П. Никольского (сначала на кафедре физической химии ЛГУ, а затем в составе РИАН), где разрабатывался процесс растворения урановых блоков, а также возможный процесс хлоридной возгонки плутония с целью выдачи продукта для металлургии в виде хлорида.

К середине марта 1946 г. был подведен итог проделанной работы и дана сравнительная оценка всех разработанных методов.

16 марта 1946 г. по докладу В.Г. Хлопина на Техническом Совете РИАН ацетатно-фторидный метод был признан наиболее изученным. Он обеспечивал удовлетворительную очистку урана и плутония и получение их в удобной для дальнейшей регенерации форме. Все необходимые для процесса химикаты производились в СССР и были относительно дешевы, в отличие, например, от фосфата висмута, который в стране вообще не производился. Эта схема была рекомендована как основа для промышленной технологии. Другие варианты — висмут-фосфатный и экстракционный — продолжали разрабатывать как запасные варианты. Практика показала, что экстракционный метод в дальнейшем сыграл очень важную роль при промышленном освоении технологии.

Огромная работа, выполненная химиками, была возможна благодаря бесперебойной работе в течение 7 месяцев циклотрона РИАН под руководством М.Г. Мещерякова. Полученные на нем препараты содержали всего 150-175 имп/мин Pu, но давали возможность работать не только на имитаторах плутония.

Позднее, в конце 1946 г., был пущен более мощный циклотрон Физико-технического института, на котором получали до 250-300 имп/мин Pu.

В РИАНе прорабатывались и другие проблемы, решение которых было необходимо для промышленного осуществления технологии: аналитические

и радиометрические методы контроля, принципы конструирования измерительных приборов для дистанционного контроля, проводились расчеты защиты от излучений, рассматривались меры безопасности. Метод регистрации альфа-частиц и экспрессного определения выхода плутония был использован в качестве основного метода контроля плутония как на опытной установке № 5 в НИИ-9, так и в заводских условиях.

По докладу В.Г. Хлопина 16 марта 1946 г. было принято решение ГИПХу и ГСПИ-11 немедленно приступать к разработке технологической части проекта, а РИАНу — выдать задание ИФХАНу на исследование коррозии, а ИРЕА — на подготовку реактивов необходимой квалификации. Успех дальнейшей работы был обеспечен включением в работу опытных технологов и инженеров из Государственного Института прикладной химии (ГИПХ), работавших под общим руководством Я.И. Зильбермана и Н.К. Хованского. Этот коллектив за один месяц разработал общую аппаратурную схему завода, составил материальный баланс и произвел расчеты расходных норм реактивов, электроэнергии, пара, воды и т.д.

29 апреля 1946 г. РИАН совместно с ГИПХ выпустил "Технологическую часть Проектного задания объекта "Б", получившую название "Синяя книга". В ней содержались практически все разделы, необходимые для промышленного осуществления технологии: от свойств исходных материалов, их поведения в технологических процессах и до расчетов материального баланса, потоков и т.д. Рассмотрены вопросы безопасности и обезвреживания отходов. Обращалось внимание на то, что весь персонал должен находиться под постоянным медицинским наблюдением и контролем. Рассмотрены необходимые дальнейшие работы.

Таким образом, к маю 1946 г. уже была создана основа для проектирования завода. Решение о его строительстве было принято на заседании НТС ПГУ 20 мая 1946 г. по докладу В.Г. Хлопина.

Успех и быстрое продвижение работ были обеспечены подключением других научных коллективов. На разных этапах работ большой вклад внесли:

РИАН — комплексная разработка технологии (химические процессы, общая технологическая схема, аналитические методики, радиометрия, расчет защиты, вопросы безопасности);

ГИПХ — технологическая часть проектного задания;

ГСПИ-11 — проект завода "Б";

НИИ-9 — создание установки N 5, полупромышленная проверка технологической схемы;

Лаб.2 — облучение урана в реакторе Ф-1, исследование сорбции плутония и осколков на осадках, фильтрах, аппаратуре и т.п.;

ИФХАН — коррозия материалов и действия радиации на технологические процессы;

ИРЕА — база реагентов необходимой чистоты;

ГЕОХИ — аналитическое обеспечение;

ИОНХ — химия осколочных элементов;

ФТИ — облучение урана на циклотроне (конец 1946 г.).

Особо следует отметить роль ЦЗЛ Комбината № 817 в Челябинске-40, созданной в 1947 г. Сотрудники этой лаборатории не только обеспечивали химические и физические анализы, но занимались совершенствованием технологических процессов действующих объектов и проводили научные исследования на уровне ведущих институтов отрасли.

После выхода "Синей книги" в Москве в НИИ-9 начали создавать установку, названную У-5, для укрупненных испытаний технологической схемы. Большую роль в создании установки сыграли директор НИИ-9 В.Б. Шевченко и начальник лаборатории З.В. Ершова. НИИ-9 расположен неподалеку от ИАЭ им. И.В. Курчатова с его первым реактором Ф-1, откуда для переработки и начал поступать облученный реакторный уран. На У-5 вместе с сотрудниками НИИ-9 работала бригада сотрудников РИАН и комбината N 817. Общее руководство работами осуществлял Б.А. Никитин, его заместителями были Б.П. Никольский и И.Е. Старик [4]. К концу 1948 г. на У-5 было получено 300 мг плутония. Летом 1948 г. пусковая бригада ученых и инженеров, прошедших практику работы У-5, включилась в работу по монтажу, а затем и "холодным" испытаниям оборудования завода "Б" в Челябинске-40.

22 декабря 1948 г. завод был пущен на реальном продукте, а уже с февраля 1949 г. начался плановый выпуск плутония. Работа ученых на заводе не прекращалась ни на один день.

Руководителем пусковой бригады и заместителем И.В. Курчатова по химии на Комбинате № 817 был Б.А. Никитин.

Такое краткое изложение истории, конечно, ни в какой степени не может передать все напряжение и все сложности пройденного пути.

Наиболее поражающим моментом в той поистине героической эпопее является непосредственный переход от лабораторных исследований к промышленному масштабу.

Основной объем лабораторных работ был выполнен на уране, облученном на циклотроне РИАН, как единственном источнике нептуния и плутония. Этот уран сильно отличался от реакторного по содержанию как плутония, так и продуктов деления. Даже на укрупненной установке в НИИ-9 были получены лишь миллиграммовые количества плутония, а условия облучения урана в реакторе Ф-1 не соответствовали условиям промышленного реактора.

Сложность переноса лабораторных опытов на промышленный масштаб связан, в частности, с тем, что несравнимы уровни радиационных полей. Поэтому процесс, успешно проходящий в лаборатории, может оказаться непригодным на заводе. К этому следует добавить, что в промышленном масштабе имели дело с ограниченной массой высокоактивного материала — урана, содержащего в виде загрязнений более 30 различных химических элементов и около 0,01% плутония, который должен был быть выделен с

высокими требованиями к чистоте конечного продукта. Такая система не может быть смоделирована в лабораторных условиях.

Сложнейший технологический процесс переработки облученного урана ведется практически вслепую, с дистанционным управлением, и связан с передачей растворов через десятки разновидных аппаратов и километры трубопроводов с сотнями затворов, вентилей и проч. Таких задач химическая технология в те времена не решала. К этому надо добавить, что за столь короткое время, естественно, технология не была отработана во всех деталях, и уточнения вводились прямо по ходу пусковых работ.

В цитированной выше книге Г.Д. Смита есть такое признание о практически близкой ситуации, которая имела место в США: "...в нормальное, мирное время ни один ученый или инженер, находящийся в здравом рассудке, не предпринял бы столь резкого увеличения масштабов ..., только возможность получить чрезвычайно важные результаты могла служить оправданием этому" [2, стр.120].

Действительно, только понимание чрезвычайности ситуации и чрезвычайной важности ожидаемых результатов могло вызвать и необычайно самоотверженный труд и принятие необычайно смелых, ответственных решений в весьма сложных ситуациях.

В последние годы не только очень часто говорят, но даже, скорее, принято говорить о работе из страха перед НКВД.

Мы, уже младшее поколение радиохимиков, начавшее работать лишь в 50-х годах, ученики и сотрудники создателей первой технологии, слышали от них много рассказов о тех днях напряженной работы. Да, в них говорили о постоянном присутствии и определенном давлении со стороны НКВД. Но никогда не звучало, что это и была та движущая сила, которая заставляла работать. Наоборот, это была увлеченная работа ученых, преданных своему делу, понимающих, что поставленная задача непременно должна быть решена, и отдававших этому весь свой опыт и знания, а часто и здоровье, и жизнь. К сожалению, многие из тех, кто работал в первые годы на заводе "Б" потеряли свое здоровье и даже жизнь. И, вопреки утверждению Смита, процитированному в начале этого текста, страна была способна и на затрату необходимой мозговой энергии, и на технические условия.

В заключение можно сформулировать основные факторы, обусловившие возможность выполнения радиохимической части уранового проекта в предельно сжатые сроки — 3 года и 3 месяца.

1. Разработка технологии была поручена РИАНу — институту с хорошей школой радиохимии, знанием особенностей и законов поведения радиоактивных изотопов, с начальным опытом работы с осколками деления урана и выделения нептуния и плутония из облученного урана. Институт имел опыт крупномасштабной работы с радиоактивными материалами (радиевая промышленность) и располагал кадрами высококвалифицированных, профессиональных радиохимиков. В РИАНе проблемы радиоактивности изу-

чались комплексно, химиками и физиками. Также совместно решались задачи радиохимической технологии.

2. Быстрое привлечение к решению проблемы многих других институтов и распределение направлений исследований с учетом специфики традиционных направлений работ каждого из них. Таким образом был максимально использован научный потенциал каждого коллектива и обеспечено тесное сотрудничество ученых, технологов, проектировщиков и инженеров.

3. Высокий уровень организации и целеустремленность работ на всех этапах — в лабораториях, на установке N 5, на заводе "Б".

4. Создание новых коллективов специалистов-радиохимиков — от лаборантов до руководителей производства, которые обучались и получали опыт непосредственно в процессе разработки и отладки технологии.

5. Большая самоотдача, самоотверженная работа большого коллектива — от руководителей всех уровней до рядовых исполнителей работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.К. Круглов.** Как создавалась атомная промышленность в СССР. М.: ЦНИИАтоминформ, 1994 г.

2. **Г.Д. Смит.** Атомная энергия для военных целей. М.: Трансжелдориздат, 1946 г.

3. **H.L. Anderson, E. Fermi, A.V. Grosse.** Phys. Rev., 1941, N 59, P.52.

4. **Б.П. Никольский.** Воспоминания. К истории атомной промышленности. Препринт РИ-245. М.: ЦНИИАтоминформ, 1996 г.

ИСТОРИЯ ПЕРВЫХ РАБОТ ПО ПОЛУЧЕНИЮ ПЛУТОНИЯ В СССР

Г.Н. Яковлев

Лаборатория № 2 АН СССР (сейчас РНЦ "Курчатовский институт") была организована весной 1943 г. и сразу же приступила к решению проблемы получения трансурановых элементов и, в первую очередь, — плутония. Руководителем лаборатории был назначен Игорь Васильевич Курчатов. В середине 1943 г. Борис Курчатов (младший брат И.В. Курчатова) начал работы по накоплению, выделению, идентификации химических и исследованию ядерных свойств трансурановых элементов.

Исторически этим работам предшествовали исследования Л. Мейтнер, О. Гана, Ф. Штрассмана, Э. Мак-Миллана, Е. Сегре, П. Абелсона [1-5]. В 1940 г. Э. Мак-Милланом и П. Абелсоном был получен первый трансурановый элемент с атомным номером 93, некоторые химические свойства которого представлены в работе [5]. Эти авторы предположили, но не могли доказать, что при облучении урана в итоге будет образовываться элемент с атомным номером 94:

$$U^{238}\ (n,\gamma) \rightarrow U^{239} - \beta\ (23\ \text{мин}) \rightarrow 93^{239} - \beta\ (3\ \text{дня}) \rightarrow 94^{239}$$

В 1942 г. была опубликована вторая и последняя в то время работа по химии элемента 93 авторов Ф. Штрассмана и О. Гана [6].

Теоретики предсказывали, что изотоп 94-го элемента с атомным весом 239, относящийся к четно-нечетным ядрам, будет альфа-излучателем с большим периодом полураспада и может делиться под действием нейтронов, подобно урану-235. Ожидалось, что искусственный элемент 94 будет обладать меньшей критической массой, лучшими делительными свойствами по сравнению с ураном-235 и найдет военное применение при изготовлении атомного оружия. Перспективы получения этого изотопа сулили определенные преимущества, так как легче отделить один химический элемент от

другого, даже из высокоактивного облученного урана, чем разделить изотопы урана с атомными весами 235 и 238. В то время получение и использование элемента 94 для военных целей стали для директора Лаборатории № 2 И.В. Курчатова главной задачей его жизни и деятельности.

Опыты по получению элемента 93 были начаты Б.В. Курчатовым совместно с В.П. Константиновой, измерявшей бета-активность полученных образцов. Ранее, в начале 1943 г., в Лабораторию № 2 поступили вывезенные из ленинградских институтов радий-бериллиевые источники. Для облучения урана использовали радий-бериллиевый источник, содержащий 200 мКи радия.

В первый период условия работы были очень трудными. Лаборатория № 2 располагалась в здании Сейсмологического института в Пыжевском переулке Москвы. Здание не было приспособлено для экспериментальных работ, тем более химических. Эксперименты проводились на столе, приставленном к окну. Тяга обеспечивалась вентилятором в форточке окна. Почти не было реактивов и посуды.

Физическая аппаратура для измерения бета-активности, в основном вывезенная из Ленинграда и Казани, была несовершенна, детали были старыми и часто выходили из строя. Приходилось ловить счастливые моменты, когда аппаратура работала в устойчивом режиме.

В 1943 году уже в первых опытах были подтверждены результаты Мак-Миллана и Абелсона [5], показавшие сходство химических свойств элемента 93 в низшей валентности с цериевой подгруппой редкоземельных элементов. Этот результат позволил Б.В. Курчатову разработать так называемый сульфатный метод очистки элемента 93.

Для выделения элемента 93 из большого количества облученного урана им был разработан купфероновый метод выделения элемента 93 с четырехвалентным ураном, добавлявшимся в небольшом количестве к основному раствору шестивалентного урана. Элемент 93 количественно соосаждался купфероном с ураном (IV) из сернокислого раствора. Работа была закончена в марте 1944 г., вскоре после переезда Лаборатории № 2 из Пыжевского переулка на Октябрьское поле.

Летом 1944 г. были начаты работы по накоплению элемента 94. И.И. Гуревичем были выполнены расчеты для определения оптимальных условий облучения нейтронами урана в смеси с водой. Смесь была получена распределением 1,5 кг закиси-окиси урана U_3O_8 в студенистом осадке пероксида урана, осажденного из 3,8 кг уранилнитрата, и разбавлением водой до объема 7,5 л. Колбу со смесью помещали в бочку с водой, в центре колбы устанавливали радий-бериллиевый источник нейтронов, содержащий 1,8 Ки радия. Этот опыт получил название "эксперимент с бочкой".

Работы по первому в СССР получению элемента 94 проводили Б.В. Курчатов и лаборант-химик З.П. Калганова. Физические измерения обеспечивали П.Е. Спивак, Г.Н. Флеров и С.А. Баранов.

Накопление элемента 94 проводилось 83 дня и закончилось 17 октября 1944 г. По средней пробе была определена скорость накопления элемента 93, а, следовательно, и элемента 94. Полное количество накопленного элемента 94 выражалось величиной $3{,}3 \cdot 10^{12}$ атомов.

Опыты по выделению элемента 94 проводились на пяти отдельных порциях облученного урана. Порции содержали от 0,5 до 2,0 кг урана. Отрабатывалась следующая схема: перевод урана в сернокислый раствор, добавка небольшого количества урана (IV), осаждение элемента 94 купферонатом урана (IV), выделение и очистка элемента 94 сульфатным методом путем последовательных окислительно-восстановительных циклов.

Заключительная пятая порция (около 2 кг урана) перерабатывалась в апреле 1945 г. В результате был получен двойной сульфат калия и лантана, альфа-активность которого соответствовала скорости счета импульсной ионизационной камеры 21,9 имп/мин. Была установлена переменная валентность элемента 94 и его аналогия с ураном в окисленном и с цериевой подгруппой редких земель в восстановленном состояниях.

Б.В. Курчатов и С.А. Баранов оценили период полураспада элемента 94 в 31000 лет [7-9]. Полученное значение периода полураспада, неизбежно очень приближенное, оказалось близким к опубликованному позднее точному значению периода полураспада плутония-239 (24390 лет).

Того количества элемента 94, которое было получено в "эксперименте с бочкой", было явно недостаточно для плодотворной работы. На циклотроне можно было получить интенсивность потока нейтронов в тысячи раз большую, чем от лучших радий-бериллиевых источников. Однако циклотрон Радиевого института и монтируемый циклотрон Физико-технического института находились в блокированном Ленинграде.

В начале марта 1943 г. И.В. Курчатовым была поставлена задача в кратчайший срок построить и пустить циклотрон. Эта работа была поручена коллективу сектора под руководством Л.М. Неменова. В феврале 1943 г., немедленно после прорыва блокады Ленинграда, Л.М. Неменов выехал в Ленинград и из Физико-технического института привез большое количество оборудования, необходимого для строительства циклотрона.

25 сентября 1944 г. в лаборатории № 2 был введен в действие циклотрон с диаметром полюсов 0,73 м. Циклотрон помещался на первом этаже Лаборатории № 2.

Ионы тяжелого водорода — дейтроны, ускоряемые на циклотроне до энергии 4-5 МэВ, бомбардировали литиевую мишень, где по следующей реакции получались быстрые нейтроны:

$$Li^7 + D^2 \rightarrow Be^8 + n^1$$

Нейтроны замедлялись в парафине, в котором помещались образцы уранилнитрата [10].

В первых опытах были подвергнуты облучению две порции уранилнитрата весом по 10 кг каждая. Облучение продолжалось до декабря 1945 г. В дальнейшем количество облучаемого уранил-нитрата достигло 50 кг.

С пуском циклотрона значительно увеличились возможности исследовательских работ по химии плутония. В 1945-46 гг. Б.В. Курчатовым были разработаны основы ионообменного метода выделения элемента 94 из облученного урана. В качестве сорбента использовали фосфат циркония. Выделение элемента 94 из облученного урана стало рутинной задачей и выполнялось лаборантами.

Появившиеся с конца 1945 г. публикации в США постепенно сняли завесу секретности с первых трансурановых элементов, названных нептунием и плутонием. Первый изотоп элемента 94, плутоний-238, был получен Г. Сиборгом, Э. Мак-Милланом, Дж. Кеннеди и Д. Уолом при облучении урана дейтронами с энергией 14 МэВ на циклотроне Калифорнийского университета. Сообщение об этом открытии было направлено в печать 28 января 1941 г., но статья появилась лишь после войны [11]. Позднее было установлено, что плутоний имеет четыре степени окисления: 3+, 4+, 5+ и 6+. Соединения трехвалентного плутония, в отличие от урана, оказались устойчивыми [12-14]. Однако сведения о химии плутония, опубликованные в американских работах периода 1946 г., были очень скудными.

В 1945-1946 гг. руководимый Б.В. Курчатовым сектор № 3 пополнился новыми сотрудниками. На работу поступили И.С. Морозов, М.И. Певзнер, Н.И. Борисова, Р.А. Зенкова, Я.Б. Финкельштейн, Г.Н. Яковлев и Л.Н. Мухина.

В 1946 г. Б.В. Курчатов, И.С. Морозов и Г.Н. Яковлев разработали марганцевый метод выделения плутония из урана сорбцией на диоксиде марганца. Сущность метода состояла в сорбции Pu(IV) порошкообразным диоксидом марганца из слабокислого (pH = 3,2) 20%-ного раствора уранилнитрата. Сорбцию плутония проводили дважды из расчета 100 г диоксида марганца на 1 кг металлического урана. Десорбцию плутония осуществляли серной кислотой (1,5 моль/л) при температуре 80-90 ^{o}С.

Позднее было предложено использовать диоксид марганца для очистки растворов урана от продуктов деления — циркония и ниобия. Этот метод долгие годы успешно применялся на производстве [15].

Большой цикл работ был посвящен исследованию и усовершенствованию сульфатного метода выделения плутония. Метод основан на свойстве плутония в трех- и четырехвалентном состояниях, в отличие от Pu(VI), соосаждаться из водных растворов с двойным сульфатом лантана и калия. Это различие в поведении плутония в зависимости от степени окисления было использовано для разработки количественного метода его определения. За один окислительно-восстановительный цикл количество носителя и объем раствора

уменьшались в 10-15 раз. Сульфатный метод долгие годы использовался на производстве как основной аналитический прием контроля технологических продуктов [16, 17].

На основе результатов исследований по марганцевому и сульфатному методам Б.В. Курчатов, И.С. Морозов и Г.Н. Яковлев в 1946 г. предложили марганцево-сульфатный метод получения и очистки плутония.

С пуском 25 декабря 1946 г. в Лаборатории № 2 первого в Европе ядерного реактора Ф-1 были созданы условия для получения весовых количеств плутония. И.В. Курчатовым были отданы распоряжения о загрузке в реактор закиси-окиси урана для обеспечения лабораторных работ по химии плутония и получению данных для проектирования и строительства опытной полупромышленной установки.

Накопление плутония в реакторе проводилось во время многочисленных больших пусков. Большими пусками называлась работа реактора на максимальной мощности при целиком извлеченных стержнях СУЗ. В соответствии с теоретическими расчетами реактор Ф-1 оказался саморегулирующейся системой. В типичном случае при больших пусках мощность реактора быстро увеличивалась до 4 МВт, после чего происходила самокомпенсация, быстрое снижение мощности до 1МВт и в дальнейшем ее медленное снижение. После выделения около 500 квт' ч. энергии аварийные стержни сбрасывались, и реактор останавливался. Продолжительность большого пуска составляла обычно около 30-40 минут [18].

Было проведено два опыта по концентрированию и выделению плутония. Для опытов использовали урановые блоки, извлеченные из реактора на разных стадиях процесса накопления плутония. Каждый опыт можно разделить на две части:

1. Выделение плутония из облученной закиси-окиси урана и получение концентрата плутония с лантаном.

2. Концентрирование плутония сульфатным методом и получение чистых соединений плутония, в том числе методами микрохимии.

Работа по выделению массового количества плутония проводилась Б.В. Курчатовым, Г.Н. Яковлевым и сотрудниками строящегося завода "Б" комбината № 817 А.Н. Тымонюк, А.А. Васильченко и И.В. Белевским. В обоих опытах плутоний выделяли из 5 кг облученной в реакторе U_3O_8, причем в первом опыте был применен марганцево-сульфатный метод, во втором — ацетатно-сульфатный [19].

Конечные операции проводили под бинокулярным микроскопом. Растворы находились в конических пробирках объемом 0,05-0,2 мл с внутренней полостью в виде капилляра диаметром 0,3-0,5 мм. Для измерения объемов служили микропипетки с диаметром капилляра 0,1-0,2 мм и делениями до 0,0001 мл.

Первый опыт проводился в марте-апреле 1947 г. Исходный материал (5133 г[1] U_3O_8), облученный в реакторе Ф-1, был растворен в азотной кислоте. Конечный объем полученного раствора составил 47,7 л. После отделения плутония от урана сорбцией на диоксиде марганца и двух последовательных лантан-сульфатных окислительно-восстановительных циклов был получен концентрат плутония в объеме 10,2 мл (2 моль/л HNO_3). По аликвотной части определили альфа-активность раствора, которая составила $8{,}25 \cdot 10^5$ расп./мин, что соответствовало содержанию плутония в концентрате — 6,1 мкг. Было проведено пять окислительно-восстановительных циклов, в результате чего объем раствора был уменьшен с 10,2 мл до 0,0006 мл.

10 апреля 1947 г. из полученного раствора нитратов, содержавшего 6,4 мкг лантана и 6,1 мкг плутония в 0,5 моль/л азотной кислоте, добавкой 0,0002 мл 30% пероксида водорода был выделен плутоний. Выпавший осадок пероксида плутония был отделен на центрифуге.

Выход плутония в первом опыте составил 98·1%. Аналитические данные по накоплению плутония позволили независимо проверить правильность расчетов ядерного реактора. Результаты эксперимента точно совпали с расчетом.

Второй опыт проводился в июне-августе 1947 г. Для опыта было взято 4892 г[1] U_3O_8, облученной в реакторе Ф-1 значительно более длительное время, чем в первом опыте.

В начальной стадии выделения и концентрирования плутония использовали ацетатную схему. Сущность ее состояла в том, что в окисленном состоянии плутоний соосаждается с ураном при осаждении последнего в виде натрий уранилацетата (техническое название — диацетат урана), а в восстановленном состоянии отделяется от него. В качестве окислителя плутония применяли бихромат калия, а восстановителя — сернистый газ. Закись-окись урана перерабатывали двумя партиями.

В первой партии на переработку было взято 2658 г[1] облученной U_3O_8. Принципиальная схема переработки состояла в однократном осаждении диацетата в окислительной среде, отделении основной массы урана от плутония в восстановительной среде, осаждении плутония с остатками урана из раствора щелочью, растворении осадка и переработки полученного раствора в двух сульфатных окислительно-восстановительных циклах. Во второй партии было взято 2235 г[1] U_3O_8. Ход опыта был такой же, как в первой партии, за исключением того, что осаждение урана с плутонием в окислительной среде не проводилось.

Растворы после второго сульфатного цикла обеих партий объединялись. Полученный концентрат плутония объемом 15 мл содержал 80 мг лантана и 17,3 мкг плутония. После четырех последующих окислительно-восстано-

[1] здесь и далее автор указывает паспортный вес (примечание редактора)

вительных циклов объем раствора был уменьшен до 0,0005 мл. Из этого раствора был осажден пероксид плутония в объеме 0,0007 мл. Выпавший осадок содержал 16,7 мкг плутония.

Извлечение плутония по всему процессу переработки во втором опыте составило 96±1%.

Выделенный в опытах 1 и 2 плутоний был использован для получения и изучения свойств некоторых его соединений. Возможности были весьма небольшими по причине почти полного отсутствия приборов высокой точности для работы с ультрамикроколичествами вещества. Было обнаружено существование трех состояний окисления плутония: (III), (IV) и (VI). Были получены следующие индивидуальные соединения плутония: оксид плутония, гидроксид плутония (III) и плутония (IV), пероксид плутония (IV), двойные сульфаты калия с плутонием (III) и плутонием (IV), оксалат плутония (IV), йодат плутония (IV), фторид плутония (III) и плутония (IV), натрий плутонилтриацетат и растворы солей плутония (III), (IV) и (VI). Была определена также формальная растворимость некоторых соединений плутония.

И.В. Курчатов показывал плутоний руководителям Первого Главного Управления при Совете Министров СССР Б.Л. Ванникову и А.П. Завенягину. О достигнутом успехе он также сообщил Л.П. Берии.

На территории НИИ-9 (ныне ГНЦ "ВНИИНМ им. А.А. Бочвара") в 1947 г. началось строительство и монтаж установки № 5. Создание этой установки позволило получать миллиграммовые количества плутония и отработать промышленную технологию получения его, которая была затем внедрена на комбинате № 817.

Поздней осенью 1947 г. отработанные урановые блоки реактора Ф-1 стали передаваться на установку № 5. Центр тяжести исследовательских работ по химии плутония из Лаборатории № 2 переместился в НИИ-9.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Meitner L., Hahn O., Strassmann F.** Über die Umwandelungsreihen des Urans, die durch Neutronenbestrahlung erzeugt werden. -Zeitschrift für. Physik. 1937. V.106 ð. 249.

2. **Hahn O., Meitner L., Strassmann F.** Über die TransUrane und ihr chemisches Verhalten.-Ber. 1937.V.70. ð.1374.

3. **McMillan E.M.** Radioactive recoils from uranium activated by neutrons. — Phys. Rev. 1939. V. 55. ð. 510.

4. **Segre E.** An unsuccesful search for transuranic elements. — Phys. Rev. 1939. V.55. ð.1104.

5. **McMillan E.M., Abelson P.H.** Radioactive element 93. — Phys. Rev. 1940. V.57. ð.1185.

6. **Strassmann F., Hahn O.** Über die Isolierung und einige Eigenschaften des Elements 93. — Naturwiss. 1942. V.30. ð.256.

7. **Курчатов Б.В.** Нехоженными путями. — Техника молодежи. 1975. №12. с.16.

8. **Вдовенко В.М., Курчатов Б.В.** Первый советский плутоний. — Радиохимия. 1968. Т.10. с.696.

9. **Яковлев Г.Н.** История первых работ по получению плутония в СССР. — Атомная энергия. 1995. Т.78, №6, с.425.

10. **Неменов Л.М.** Послезавтра начнем облучение. Как был получен с помощью циклотрона первый в Европе плутоний. — Техника молодежи. 1975. №6. с.18.

11. **Смит Г.Д.** Атомная энергия для военных целей. Пер. с англ. — М. Трансжелдориздат. 1946.

12. **Seaborg G.T.** The chemical and radioactive properties of the heavy elements. — Chem. Eng. News. 1945. V.23. p.2190.

13. **Seaborg G.T., McMillan E.M., Kennedy J.W., Wahl A.C.** Radioactive element 94 from deuterons on uranium. — Phys. Rev. 1946. V.69. p.366.

14. **Kennedy J.W., Seaborg G.T., Segre E., Wahl A.C.** Properties of 94 (239). — Phys. Rev. 1946. V.70. p.555.

15. **Курчатов Б.В., Морозов И.С., Правдюк Н.Ф., Курчатова Л.Н., Финкельштейн Я.Б., Зенкова Р.А., Яковлев Г.Н., Борисова Н.И., Савина В.И.** Исследование сорбционной очистки двуокисью марганца растворов урана и плутония от продуктов деления и разработка вариантов комбинаций сорбционной очистки. — Отчет ИАЭ. Арх. №12-С-Т-50. 1949. 40 с.

16. **Курчатов Б.В., Морозов И.С., Яковлев Г.Н.** Технологическая схема и расходные коэффициенты лантан-сульфатной схемы выделения плутония из концентрата. — Отчет ИАЭ. Арх. №12-С-Т-20. 1947. 8 с.

17. **Курчатов Б.В., Гребенщикова В.И., Чернявская Н.Б., Яковлев Г.Н.** Сульфатный метод выделения плутония и нептуния. — Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955. Т.7. с.393. Доклад Р/678.

18. **Жежерун И.Ф.** Строительство и пуск первого в Советском Союзе атомного реактора. — М. Атомиздат. 1978.

19. **Курчатов Б.В., Яковлев Г.Н.** О получении соединений плутония, свободных от вещества носителя. — Отчет ИАЭ. Арх. №5389. 1947. 52 с.

ОБЗОР ПЕРВЫХ РАБОТ ПО РАДИОХИМИИ ТРАНСПЛУТОНИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АМЕРИЦИЯ И КЮРИЯ

Г.Н. Яковлев

Первые работы по получению и исследованию ядерно-физических и химических свойств америция и кюрия выполнялись в Лаборатории измерительных приборов АН СССР, сокращенно ЛИПАН (ныне РНЦ "Курчатовский институт").

Вскоре после пуска на Комбинате 817 промышленного реактора в ЛИПАН стали поступать образцы облученного металлического урана, а в дальнейшем растворы плутония для исследований и арбитражного анализа. В марте 1949 г. из первого же образца Г.Н. Яковлевым были получены первые в Союзе индикаторные количества америция-241 и кюрия-242.

В 1950 г. было накоплено и выделено в виде чистых соединений уже 2 микрограмма америция-241. Был разработан т.н. "сульфатный" метод отделения америция от плутония, который долгие годы использовался в качестве основного метода аналитического контроля за содержанием америция. В 1951-52 гг. было получено 4 миллиграмма, а за 1953-54 гг. — уже 1 грамм америция-241.

Образцы облученного америция, поступавшие с промышленного предприятия, обладали очень высокой активностью. Оборудования для работы с такими продуктами еще не существовало, приходилось работать руками за самодельной защитой из свинцовых стекол и металлического свинца. Поэтому работа химиков Г.Н. Яковлева, Р.А. Зенковой, Г.А. Вансович, Н.И. Борисовой, Я.Б. Финкельштейна, В.Е. Савиной и З.П. Калгановой проходила в трудных и вредных условиях. Химические свойства открытых в 1944 г. и тогда впервые получаемых в Советском Союзе америция и

кюрия были еще мало изучены. Поэтому продвигаться вперед приходилось буквально "на ощупь", проверяя себя на каждом шагу.

Из литературы было известно, что в ряду от урана до кюрия существенно возрастает устойчивость низших валентных состояний, и америций с кюрием существуют в основном в трехвалентном состоянии. Открытие этих элементов способствовало созданию Г.Т. Сиборгом актинидной теории, согласно которой заполнение энергетического уровня 6f начинается с тория. Новая группа, подобная лантанидам, была названа Сиборгом актинидами.

Исходя из этих предпосылок, выделение америция и кюрия из 23 г стружки облученного металлического урана проводилось по схеме: отделение урана и плутония в виде диацетатов, осаждение из фильтрата диураната калия. Процесс повторялся в меньшем объеме. После растворения осадка второго диураната калия америций, кюрий и редкоземельные продукты деления осаждались с двойным сульфатом калия и лантана. Для отделения от плутония это осаждение проводилось в окислительной среде. Основная трудность состояла в отделении америция и кюрия от высокоактивной фракции редкоземельных продуктов деления. Метод разделения не был известен, и его пришлось разрабатывать в ходе работы, используя малые порции исходного раствора. Ожидалось уменьшение растворимости оксалатов трансплутониевых элементов с повышением температуры. Пробные опыты подтвердили это предположение, но реальная эффективность разделения оказалась невысокой, и пришлось применить многоступенчатую кристаллизацию с оксалатом лантана.

Идентификация выделенных продуктов по пробегу альфа-частиц, выполненная С.А. Барановым и Ю.И. Покровским, показала, что имеются две группы альфа-частиц с энергией 5,44 Мэв и 6,08 Мэв, которые совпали с известными значениями для америция-241 и кюрия-242. Измеренный период полураспада кюрия-242 также прекрасно совпал с имевшимися в литературе данными. В дальнейшем америций и кюрий были разделены на катионообменной смоле с помощью 0,25 М раствора цитрата аммония с pH 3,1 при 85^{o} С.

Таким образом было установлено образование изотопов трансплутониевых элементов, америция-241 и кюрия-242, в урановом реакторе по схеме, показанной на рис.1. В середине 1950 г. появилась краткая заметка Гиорсо, Джеймса, Моргана и Сиборга о том, что америций-241 был впервые ими получен не на циклотроне, как сообщалось ранее, а как продукт нейтронного облучения плутония.

Количество образующихся трансплутониевых элементов при определенном режиме работы уранового реактора зависит от эффективных сечений взаимодействия с нейтронами участвующих в реакциях изотопов. В те времена были известны или могли быть измерены только сечения для изотопов урана и плутония-239. Тщательный радиохимический анализ облученных в реакторе образцов позволил решить и эту задачу.

На основании изучения изотопного состава многочисленных образцов плутония Г.Н. Яковлевым было определено эффективное сечение захвата плутония-240 для спектра нейтронов первого промышленного реактора, составившее 1100 барн.

Первые опыты были выполнены зимой 1949-1950 гг. на образцах плутония весом от 80 до 210 мг, с определением через различные промежутки времени количества америция-241, образовавшегося в результате бета-распада плутония-241. Параллельно проводились прямые измерения бета-активности особо чистых фракций плутония методом бета-спектрометрии. В этой работе участвовали К.Н. Шлягин и Г.А. Чистякова. Содержание плутония-240 определялось на основании измерений удельной активности спонтанного деления плутония М.И. Певзнером и В.И. Мостовым. Полученная величина эффективного сечения захвата нейтронов плутонием-240 еще в течение нескольких лет использовалась в расчетах новых промышленных реакторов для определения режимов накопления плутония. Эффективное сечение захвата нейтронов америцием-241, определяющее выход кюрия-242, в то время приближенно оценивалось в 900 барн.

Америций-241 относится к классу изотопов, представляющих нечетно-четные ядра. Взаимодействие таких ядер с нейтронами представляло значительный интерес с разных точек зрения. По заданию И.В. Курчатова в 1952 г. В.В. Скляревский и Г.Н. Яковлев совместно с сотрудником Комбината Е.Я. Доильницыным измерили сечение деления америция-242 на нейтронах первого промышленного реактора, которое оказалось равным 3,3 барна.

Зимой 1951-52 гг. Г.Н. Яковлев, Р.А. Зенкова и Г.А. Чистякова из 180 г окиси плутония выделили 4 мг америция-241. Извлечение америция проводилось по схеме: растворение плутония в азотной кислоте; отделение плутония от америция осаждением перекиси плутония; осаждение америция из фильтрата с гидроокисями плутония и железа; аффинаж америция сульфатным методом. Все эти операции проводились на Комбинате 817. В дальнейшем миллиграммовые количества америция неоднократно получались по аналогичной методике. Эти же авторы вместе с сотрудниками ЦЗЛ Комбината Я.И. Рискиным и Н.М. Таракановым провели первые исследования некоторых окислительно-восстановительных реакций америция спектрофотометрическим методом.

С самого начала было очевидно, что для получения весовых количеств трансплутониевых элементов необходим реактор с высоким потоком нейтронов, а для реализации процессов выделения и изучения химических свойств — специализированная горячая лаборатория. Аналогичное положение создалось в материаловедении. Поэтому осенью 1949 г. И.В. Курчатов принял решение о строительстве в ЛИПАН комплекса, включающего исследовательский реактор РФТ и горячие радиохимическую и материаловедческую лаборатории. Реактор РФТ тепловой мощностью 10 МВт и с максимальной интенсивностью потока нейтронов $8 \cdot 10^{13}$ н/см$^2\cdot$сек вступил

в эксплуатацию в апреле 1952 г. и был выведен на проектную мощность в декабре того же года. С целью накопления трансплутониевых элементов в 1956 г. в реактор РФТ было поставлено на длительное облучение 100 г плутония.

В апреле 1952 г. было закончено строительство "горячей" радиохимической лаборатории, предназначенной для переработки высокоактивных (до 10000 Кюри) облученных образцов с целью получения трансплутониевых элементов, изучения их химических и ядерно-физических свойств и разработки новых методов выделения и очистки. В первые три года работы лаборатории в переработке облученных образцов использовались в основном варианты классических осадительных методов, используемых на Комбинате. В дальнейшем стали применяться вновь разрабатываемые современные методы, использующие экстракцию органическими растворителями и ионообменную хроматографию.

По распоряжению И.В. Курчатова в 1953 г. на Комбинате были начаты работы по переработке 8 кг металлического плутония с целью выделения накопившегося америция-241. В работе участвовали: от ЛИПАН — Г.Н. Яковлев, И.А. Реформатский и Е.П. Дергунов, от ГЕОХИ АН — А.П. Виноградов и М.Н. Петрикова, от ИФХ АН — А.Д. Гельман, от ЦЗЛ Комбината — Л.П. Сохина и Ф.П. Кондрашева.

Переработка проводилась порциями по 400 г. Металлический плутоний растворялся в соляной кислоте, из полученного раствора в 2 М HCl осаждался пероксид плутония. Из декантата, после отделения пероксида, америций и остатки плутония осаждались с гидроокисью железа. Полученный концентрат америция был отправлен в ЛИПАН, где производилась очистка от железа сульфатным методом и от остатков плутония — осаждением карбоната пятивалентного америция-241 в виде диоксида. Выполнение операции на последних этапах работы потребовало специальных мер защиты от собственного гамма-излучения америция-241.

Дальнейшие работы с америцием потребовали разработки метода выделения америция из разбавленных растворов, необходимого как для регенерации отходов, так и при переработке облученных материалов. Такой метод, основанный на соосаждении двойного карбоната пятивалентного америция с трикарбонатами уранила или плутонила в концентрированных растворах карбоната калия, был разработан Д.С. Горбенко-Германовым, В.Н. Косяковым и Г.Н. Яковлевым в 1956 г. В качестве окислителя использовался озон. Надо сказать, что озон вообще широко использовался для окисления ионов америция, поскольку его введение не вносит в систему никаких дополнительных солевых примесей и позволяет получать особо чистые препараты и системы для исследований.

В 1954-55 гг. М.Н. Огановым, А.Р. Стригановым и Ю.П. Соболевым был подробно изучен эмиссионный спектр америция. В широкой области спектра (7700-2500A^0) были идентифицированы длины волн 1044 спектраль-

ных линий америция и дана оценка интенсивности. Долгое время таблица спектральных линий америция, полученная в ЛИПАН, оставалась наиболее полной.

В период 1954-58 гг. в горячей радиохимической лаборатории ЛИПАН Г.Н. Яковлевым и В.Н. Косяковым было проведено детальное изучение спектров поглощения ионов америция в трех- пяти- и шестивалентном состояниях в водных растворах различных минеральных кислот и солей. Характер спектров поглощения ионов америция в различных валентных состояниях, а также интенсивность наиболее характерных пиков и их чувствительность к составу растворов позволили использовать спектрофотометрию не только для идентификации и определения содержания соответствующих валентных состояний америция, но и для изучения взаимодействия ионов америция с растворителем.

Для изучения комплексообразования ионов америция и кюрия широко использовались и другие методы, такие как электромиграция (Р.А. Зенкова), ионный обмен (И.А. Лебедев, С.В. Пирожков, Г.Н. Яковлев), определение растворимости солей и изучение спектров поглощения кристаллов (Д.С. Горбенко-Германов, Р.А. Зенкова, В.М. Разбитной, Г.Н. Яковлев). В результате проведенных исследований было убедительно показано, что электроны 5f-оболочки актинидов сильнее взаимодействуют с полем кристаллической решетки, чем электроны 4f-оболочки лантанидов.

При более детальном изучении химических свойств америция стало ясно, что он является, пожалуй, единственным из актинидов, кто обладает таким широким многообразием сравнительно доступных валентных состояний в водных растворах, представленных типичными для актинидов ионами Me^{+++}, MeO_2^{+} и MeO_2^{++}. Эта особенность имеет как теоретическое, так и большое практическое значение. В этой связи в горячей радиохимической лаборатории в 1955 г. была организована группа (В.Н. Косяков, А.Г. Рыков, Ю.П. Соболев, А.А. Зайцев и В.Ф. Зарудский) для детального изучения окислительно-восстановительных реакций америция. В распоряжении группы были десятки миллиграмм америция-241 высокой чистоты и хорошо освоенный спектрофотометрический метод исследования. Первые спектрофотометрические измерения проводились на отечественном однолучевом СФ-4 с ручным построением спектров по точкам и необходимостью учитывать изменения спектров поглощения в процессе проведения измерений.

В результате были разработаны методы получения чистых препаратов америция в пяти- и шестивалентном состоянии, а также исследованы механизм, кинетика и термодинамика диспропорционирования Am(IV) и, особенно подробно, Am(V) в различных минеральных кислотах. В то время мы располагали только препаратами америция-241, обладающего относительно высокой удельной альфа-активностью, вызывающей интенсивные радиолитические процессы. Поэтому приходилось тщательно исследовать и в кинетических расчетах количественно учитывать реакции восстановления

Am(V) и Am(VI), протекающие под действием собственного альфа-излучения. Тем более было приятно узнать во время Второй Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, что, независимо, в области окислительно-восстановительных реакций мы и американские ученые получили практически совпадающие результаты.

Проблема извлечения америция и кюрия из облученных материалов связана с решением двух сложных задач: отделение трансплутониевых элементов от редкоземельных продуктов деления и выделение индивидуальных элементов в чистом виде. Полное разделение трехвалентных актинидов и лантанидов может быть достигнуто методом ионного обмена с использованием комплексообразователя. Разделительному процессу на хроматографической колонке существенно мешает образование газообразных продуктов радиолиза. Разрывы в столбе ионообменной смолы можно избежать путем применения специального оборудования, выбором соответствующего элюента и тщательного управления процессом. Для группового разделения америция и кюрия от редкоземельных продуктов деления вначале использовался 20-процентный этиловый спирт, насыщенный хлористым водородом. В работах с высокоактивными растворами этот элюент был заменен на более устойчивый раствор роданида аммония. Для разделения америция и кюрия на первых этапах использовался цитрат аммония при повышенной температуре, который впоследствии был заменен на альфа-оксиизобутират аммония, который не требует нагревания и позволяет работать с растворами с высокой удельной альфа-активностью.

В 1956 г. в горячей радиохимической лаборатории была создана полуавтоматическая хроматографическая установка, позволяющая дистанционно производить труднейшие химические разделительные процессы. Установка позволяла работать с материалами активностью до 3 Ки гамма-излучения. Кроме ионообменных процессов, на установке можно было проводить разнообразные химические операции. На этой установке в 1957 г. Г.Н. Яковлев, В.Б. Дедов, Р.А. Зенкова и П.С. Трухляев впервые в СССР получили весовые количества кюрия (55 мкг кюрия-242 в виде чистых соединений). В 1960 г. В.Б. Дедов, И.А. Лебедев, В.М. Разбитной, П.С. Трухляев, Г.Н. Яковлев и сотрудники ОИЯИ (Дубна) В.В. Волков и Ю.Т. Чубурков из 23 мг америция-241, облученного в реакторе РФТ, выделили 1,9 миллиграмма кюрия — 242.

Систематическое изучение экстракции америция и кюрия началось еще в 1952 г. Опытные партии экстрагентов изготавливали в Академии химической защиты и в Подольском научно-исследовательском технологическом институте. В 1952 г. Г.Н. Яковлев, И.А. Реформатский и А.М. Воробьев исследовали коэффициенты распределения трехвалентного америция и лантанидов в системе трибутилфосфат (ТБФ) — растворы азотной кислоты, а также нашли условия для количественного извлечения америция из водной фазы растворами теноилтрифторацетона (ТТА) в бензоле. И.А. Реформатский и

М.Н. Рыжов исследовали экстракцию америция и кюрия неразбавленным ТБФ и из концентрированных растворов нитратных солей различных металлов.

В 1961 г. Г.Н. Яковлев, В.Н. Косяков, Е.С. Гуреев и Ю.П. Соболев приступили к систематическому изучению процессов экстракции актинидных элементов с использованием различных классов фосфорорганических соединений. Исследована экстракция актинидов моно- и диалкилфосфорными кислотами, алкилфосфонатами, алкилфосфинатами и фосфиноксидами. В результате было предложено несколько весьма эффективных методов выделения индивидуальных актинидов и отделения америция и кюрия от редкоземельных продуктов деления. Впервые было предложено использовать экстракционную хроматографию для разделения трансплутониевых элементов.

При переработке облученных материалов для концентрирования актинидно-лантанидной фракции использовалось оксалатное осаждение. В 1955 г. Е.П. Дергунов, П.М. Чулков, И.А. Реформатский и Ю.А. Новожилов предложили использовать в качестве носителя оксалат кальция. Осадок легко превращался в гидроокись путем обработки щелочью при повышенной температуре, а кальций удалялся промывкой водой. И.А. Лебедев, С.В. Пирожков, В.М. Разбитной и Г.Н. Яковлев нашли, что сухой оксалат америция-241 разлагается под действием собственного альфа-излучения и переходит в карбонат.

Комплексообразование америция и кюрия в трехвалентном состоянии с неорганическими аддендами исследовалось И.А. Лебедевым и Г.Н. Яковлевым в нитратных, сульфатных и роданидных растворах методом ионного обмена. Значительное внимание уделялось также комплексообразованию америция и кюрия с органическими аддендами, имеющими значение в процессах выделения трансплутониевых элементов, таких как, например, этилендиаминтетраацетат-ион, лактат и альфаоксиизобутират.

В 1958 г. Э.Г. Чудинов и Д.Я. Чепоров, используя модифицированный эффузионный метод Кнудсена, измерили давление паров тетрафторида америция и рассчитали теплоту сублимации в области 385-640^0 С, составившую 49,8 ккал/моль. При температуре выше 640^0 С происходит разложение тетрафторида америция. Установлено, что наблюдаемая закономерность изменения теплоты сублимации с увеличением атомного номера элемента от тория к америцию полностью соответствует актинидной теории Сиборга.

В середине 50-х годов в ЛИПАН стал ощущаться недостаток экспериментальной базы для дальнейшего развития работ в области получения и изучения трансплутониевых элементов, и прежде всего, отсутствие мощного высокопоточного реактора и нехватка помещений для работы с высокоактивными материалами. И.В. Курчатов предложил создать филиал ЛИПАН вблизи г. Мелекесса (теперь г. Димитровград) Ульяновской области и по-

строить там высокопоточный реактор и более мощную горячую радиохимическую лабораторию. В 1958 г. было принято решение об изготовлении на Комбинате 817 блоков из 5 кг плутония и последующем длительном облучении в реакторах Комбината. В дальнейшем этот проект был полностью реализован, но это уже другая история.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛУТОНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО В ПЕРВОМ РОССИЙСКОМ РЕАКТОРЕ Ф-1

Т.С. Меньшикова

В работе представлены результаты первых исследований по свойствам плутония, выделенного из облученного урана в первом на Европейском континенте реакторе Ф-1.

Описано создание методик и ряда приборов для определения основных физико-механических свойств плутония на корольках, не превышающих нескольких миллиграмм. Впервые на континенте на искусственно полученном металле — плутонии было обнаружено наличие пяти модификаций в довольно узком температурном интервале. Дано описание оригинальных приборов, позволивших определить температуру плавления и основные характеристики различных фаз плутония. Эти свойства были необходимы для расчетов первой атомной бомбы. Проведенные исследования способствовали успешному созданию производства плутония в промышленном масштабе и ликвидации монополии США в области атомного оружия.

Технология получения плутония из облученного нейтронами U-238 была разработана в Ленинградском радиевом институте (РИАН) под руководством В.Г. Хлопина. Полученные индикаторные количества плутония позволили определить некоторые химические свойства плутония.

В 1944-45 гг. возникла необходимость получения плутония в весовых количествах, что потребовало существенно увеличить масштабы работ. Так возникла идея создания еще одного института и рядом с Л-2 на Октябрьском поле директор В.Б. Шевченко начал строить и собирать кадры для НИИ-9, который сначала называли базой N1 Мосгорстроя, затем предприятием п/я Р-3394, п/я Р-6575 и наконец ВНИИНМ. Приглашали для работы высококвалифицированных ученых, вокруг которых образовывались коллективы

из молодых специалистов университетов, демобилизованных инженеров и позже — выпускников различных вузов Москвы, Ленинграда, Казани и др. В начале 1946 г. в институт была переведена группа сотрудников из Гиредмета во главе с З.В. Ершовой, женщиной с интересной судьбой, которая еще в 1937 г. проходил практику в лаборатории Марии Кюри и имела опыт работы с радиоактивным материалом. З.В. Ершова, В.Д. Никольский и Н.С. Повицкий подготовили техническое задание на создание нового института, и З.В. Ершова согласовала его с В.Г. Хлопиным.

Первые микрограммы плутония были выделены у нас в институте из облученных урановых блоков в первом на Европейском континенте реакторе Ф-1. Эта работа проводилась под руководством Ершовой З.В. Была создана первая установка с дистанционным управлением У-5 по отработке технологии выделения плутония из облученных урановых блоков. Эта установка явилась прототипом будущего завода по извлечению плутония из блоков промышленного реактора. На ней проходили стажировку сотрудники Челябинска-40. Старшими товарищами читался цикл лекций по свойствам новых материалов и по технике безопасности при работе с ними. У-5 явилась научным центром, для работы в котором были привлечены ученые химики, физики, радиохимики ряда институтов (РИАН, ИАЭ, ИОНХ, МГУ).

Первые концентраты плутония были выданы в конце 1947 г. в микрограммовых количествах, а в 1948 г. с У-5 выданы концентраты с весовым количеством плутония.

При этом возникали и решались сложные аналитические задачи. Жесткие требования по примесям, являющимся нейтронными ядами, диктовались необходимостью обеспечить протекание цепной реакции деления. Предельно допустимое их содержание не должно было превышать $10^{-5} \div 10^{-6}$ % масс. Для этого были разработаны новые методы анализа В.К. Марковым, С.В. Елинсоном, Л.В. Липисом и др.

Содержание продуктов деления в соединениях плутония необходимо было снизить в 10^6 раз и очистить плутоний от примерно 60 элементов, возникающих за счет деления ядер. Из концентратов плутония нужно было получить металлический плутоний и изучить его свойства. Для решения этих задач в институт были приглашены члены-корреспонденты АН СССР А.А. Бочвар и И.И. Черняев, профессора А.Н. Вольский, А.С. Займовский и др., вокруг которых начали формироваться новые коллективы. Для решения этой комплексной задачи в институте был создан отдел "В", руководителем которого был назначен А.А. Бочвар (впоследствии — директор института с 1952 по 1984 г.).

Все было впервые и совершенно необычно. На пустом месте необходимо было создать новые методики и приборы, которые бы позволили определить основные физико-механические свойства на микроколичествах нового, искусственно полученного металла — плутония.

Была разработана схема взаимодействия участников работ отдела Бочвара А.А. Концентрат плутония с У-5 передавался в лабораторию И.И. Черняева для получения промежуточного соединения плутония, которое затем поступало в лабораторию А.Н. Вольского в группы В.С. Соколова, Ф.Г. Решетникова, Я.М. Стерлина для проведения операции хлорирования, восстановительной и рафинированной плавки с получением корольков металлического плутония размером с булавочную головку. Металлический плутоний массой в несколько микрограмм передавался в лабораторию А.С. Займовского для изучения основных характеристик этого нового неизвестного металла периодической системы.

Для этого необходимо было разработать специальные методики и приборы, позволяющие определить требуемые свойства на микроколичествах радиоактивного и токсичного металла. Задача была трудная, срочная, ответственная, но и очень интересная. Наши старшие товарищи А.А. Бочвар, С.Т. Конобеевский, А.С. Займовский, В.И. Кутайцев и др., выполняя в сжатые сроки Правительственное задание, заражали нас своим энтузиазмом. Мы все ощущали особую значимость и ответственность выполнения поставленной задачи. Работа протекала в атмосфере особого творческого подъема, мы — тогда молодые специалисты (лаборанты, техники, рабочие, мастера) — работали, не считаясь со временем, находили новые нетрадиционные решения. В короткие сроки был создан творческий коллектив, которому оказалось под силу за несколько месяцев разработать технологию получения металла высокой чистоты и определить его основные свойства, подготовить рекомендации для создания совершенно новой промышленности в условиях полуразрушенного хозяйства послевоенного периода и выдать необходимые данные для расчета первых изделий, которыми занимался Ю.Б. Харитон. Ю.Б. Харитона интересовали температура плавления, плотность, объемные изменения при нагревании, механические свойства, микроструктура, наличие фазовых переходов и др.

Для работы с токсичным и радиоактивным материалом разрабатывались и защитные средства. Так были созданы первые перчаточные камеры из плексигласа, которые впоследствии были заменены на металлические боксы. Одновременно разрабатывались и другие защитные средства и приборы контроля над радиоактивным загрязнением, которых оказалось недостаточно.

Неоценимую помощь оказывали мастера — умельцы, золотые руки которых по эскизным наброскам конструировали новые исследовательские приборы, аналогов которым не было в мире. И как выяснилось позже, все константы были определены с достаточной точностью и в дальнейшем при проверке их на больших количествах внесены были весьма незначительные уточнения. Среди мастеров можно назвать многих, например, В.Т. Вавакин, который в содружестве с инженерами изготовил приборы для определения температуры плавления нового металла, объемных изменений и изменения микротвердости, дилатометрии в интервале от комнатной температуры до

температуры солидуса и т. д. Решения были весьма оригинальны. Так, например, для определения температуры плавления на корольках весом в несколько миллиграммов опустить термопару в металл и измерить температуру плавления традиционным методом на приборе Н.С. Курнакова не представлялось возможным. И тогда в тигелек превратили сам спай термопары, расклепав его в своеобразную чашечку, в которую помещали бесформенный кусочек плутония, и проводили разогрев разъемной кварцевой печуркой. Температуру плавления фиксировали визуально через микроскоп в момент образования шарика, который удерживался силами поверхностного натяжения и на термограмме. Велико было наше удивление, когда, наблюдая за движением "зайчика" при записи термограммы мы отметили 5 превращений у плутония. Существование 5, а позднее и 6 модификаций у плутония было отмечено и на дилатограмме. Эту ювелирную технику осваивали В.И. Кутайцев, Л.И. Цупрун, Е.С. Смотрицкая, Т.С. Меньшикова, В.Г. Кузнецова, В.И. Багрова, Г.С. Смотрицкий и др. Таким образом было установлено существование ряда фазовых переходов у плутония в довольно узком температурном интервале.

Установлен следующий температурный интервал стабильности аллотропических модификаций плутония (С):

α-фаза— ниже 115, β-фаза — 115-200, γ-фаза — 200-310,

δ-фаза — 310-452, ε-фаза — 452-480, θ-фаза — 480-640.

Температура плавления плутония оказалось довольно низкой, равной 640^0 С.

Было также установлено, что плутоний по своим свойствам отличается от многих металлов. В частности, превращение α-фазы в β-фазу сопровождается весьма большими объемными изменениями (около 10%), что не характерно для обычных металлов, имеющих фазовые превращения. Совершенно необычным для металлов оказалось наличие у δ-фазы плутония отрицательного коэффициента термического расширения.

Группой сотрудников во главе с Е.М. Савицким, в состав которой входили А.А. Жулькова, В.В. Титова и др., определили механические свойства плутония.

Каждая фаза имела присущие ей механические свойства. Исследования показали, что α-фаза плутония является весьма хрупкой и практически не поддается пластической деформации. Наиболее пластичными оказались высокотемпературные модификации плутония β- и δ-фазы. δ-Фаза обладает хорошими технологическими характеристиками, и она нашла практическое применение. δ-Фаза могла быть зафиксирована при комнатной температуре легированием некоторыми элементами III группы системы Д.И. Менделеева.

Рентгеноструктурные исследования различных фаз плутония и его сплавов проведены под руководством чл.-корр. АН СССР С.Т. Конобеевского с участием П.П. Егорова, Н.Т. Чеботарева, Б.М. Левитского и др.

Почти одновременно с разработкой технологии получения плутония в институте проектировался завод Б по получению плутония уже в больших количествах в Челябинске и цех-1 по изготовлению первых слитков плутония для изделий первой плутониевой бомбы.

Оперативному решению задачи в значительной мере способствовала передача опыта, накопленного при работе на микроколичествах в институте, также, как и прохождение стажировки в институте группы сотрудников Комбината: Л.П. Сохина, Н.И. Иванов, М.В. Гладышев (ныне здравствующие) и А.С. Никифоров, В.Д. Бородич и др. (уже ушедшие от нас).

При выполнении этой работы коллектив ученых за короткий срок приобрел колоссальный опыт работы. Оправдался риск, который взяли на себя ученые при переходе от работы с микроколичеством плутония к работе по созданию крупного производства, исключая стадию создания опытных установок. Это позволило в исключительно короткие сроки решить проблему создания атомной промышленности. Этот успех был достигнут благодаря большой эрудиции руководителей, огромному энтузиазму всех участников, взаимной поддержке и доверию. В начале марта 1949 года для участия в пуске и освоения производства выехала на "Маяк" бригада под руководством Бочвара А.А. и Черняева И.И. В состав бригады вошли представители всех основных направлений разработок: радиохимики, аналитики, литейщики, обработчики давлением и механической обработки, материаловеды, специалисты по физико-механическим свойствам. Все они приняли самое непосредственное участие в организации производства на заводе 20 и на химическом заводе. Это обусловило создание в кратчайшие сроки производства изделий на заводе с дальнейшей передачей изделий Ю.Б. Харитону, что в итоге и решило успех всей работы.

Задание было выполнено в короткие сроки, и 29 августа 1949 г. появилось сообщение об успешных испытаниях русскими учеными первой атомной бомбы. Это событие ознаменовало конец монополии США в области атомного оружия. За короткий срок была решена грандиозная задача.

В сентябре 1949 г. бригада ученых во главе с Бочваром А.А. вернулась в Москву. Указом от 29.10.49 г. участники этого научного подвига награждены высокими Правительственными наградами.

По завершении этой работы были начаты под руководством академика А.А. Бочвара и чл.-корр. АН СССР С.Т. Конобеевского исследования взаимодействия плутония со всеми технически важными металлами с построением диаграмм состояния. Характерной особенностью проведенных исследований было использование микрометодов с массой образцов от нескольких десятков до сотен миллиграммов без снижения качества и достоверности результатов. Эти исследования перед 1-ой Международной Женевской конференцией по мирному использованию атомной энергии в 1955 г. были доложены Конобеевским С.Т. на сессии Академии наук СССР, чем был закреплен приоритет этих исследований за Советской наукой.

Более поздние исследования зарубежных ученых, проведенные с применением обычных методик с использованием образцов массой несколько граммов, подтвердили правильность отечественных данных, результаты весьма близки, а в ряде случаев идентичны.

Следующий этап исследований плутония был направлен на мирное использование плутония в качестве топлива для АЭС, в первую очередь для реакторов на быстрых нейтронах. Эти исследования были начаты по инициативе и под руководством академика А.И. Лейпунского, но это уже другая история.

СОЗДАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛУТОНИЯ

В.И. Землянухин

Автор в 1949-1968 гг. работал начальником технологических радиохимических лабораторий в ЦЗЛ Комбината № 817 (Челябинск-40), участвовал в совершенствовании ацетатной и создании экстракционной технологии получения плутония из облученного урана. Лауреат Государственной премии СССР.

В докладе приведены данные о разработке радиохимической технологии выделения плутония из облученного урана в 1943-1948 гг. в Радиевом институте и Лаборатории №2 Академии Наук СССР, в НИИ-9. В результате этих работ был спроектирован, построен и в начале 1949 г. осуществлен пуск первого в стране радиохимического завода получения плутония, освоена ацетатно-фторидная технология и эфирная очистка концентрата плутония. Отмечаются недостатки технологии и проекта. Рассматриваются работы по совершенствованию ацетатного процесса, применению сорбционной очистки, переводу на современную экстракционную технологию.

В тридцатые годы экспериментальные и теоретические исследования в области ядерной физики и радиохимии в стране находились на уровне ведущих достижений мировой науки.

В Радиевом институте, созданном в 1922 г., эти исследования были представлены наиболее комплексно: геохимический отдел возглавлял В.И. Вернадский (первый директор института), радиохимический — В.Г. Хлопин, физический — Л.В. Мысовский. Заслугой ученых-радиохимиков была разработка крупных вопросов теоретической и прикладной радиохимии. Среди них — исследования состояния радиоэлементов в различных средах, распределение их между двумя фазами, изучение химии отдельных радиоэлементов, продуктов деления урана нейтронами. В.Г. Хлопин сформулировал закон изоморфной сокристаллизации микрокомпонентов, им

заложены основы радиевой промышленности в стране, с его участием получены первые препараты радия из отечественных руд.

Промышленный опыт получения радиоактивных веществ: радия, мезотория, урана — тесно связан также с Московским заводом редких элементов и Государственным институтом редких металлов, где руководителем лаборатории радия была З.В. Ершова. В разное время в стране работало четыре радиевых завода. В эти годы в СССР энергично развивались многие отрасли химической промышленности, цветной металлургии, что во многом способствовало успешному созданию и освоению в кратчайшие сроки радиохимического производства получения плутония из облученного урана.

Наши ученые придавали большое значение открытию деления ядер и обоснованию возможности осуществления самоподдерживающейся цепной ядерной реакции, но в начале Великой Отечественной войны исследования по атомной тематике в стране были прерваны. Однако в это время в Германии, Великобритании, США велись секретные работы по созданию ядерного оружия. Научные публикации по делению ядер и использованию атомной энергии в открытых изданиях прекратились. В 1941 г. в США был открыт плутоний-239, и было показано, что он делится под воздействием нейтронов, как и уран-235, с высвобождением большого количества энергии. Работы над урановым проектом значительно расширились — внимание было сосредоточено на создании атомной бомбы. По результатам анализа информации об этих работах Государственный комитет обороны в конце 1942 г. обязал АН СССР начать исследовательские работы по использованию атомной энергии в военных целях. В Москве была организована Лаборатория №2 АН СССР, начальником лаборатории и научным руководителем проблемы назначен И.В. Курчатов. Для работ по радиохимии был привлечен Радиевый институт.

Исследования по получению и выделению нептуния и плутония были начаты в 1943 г. в Лаборатории №2 (Б.В. Курчатов) и в Радиевом институте (под руководством В.Г. Хлопина). Первые импульсные количества 10^{12} атомов плутония-239 были получены в 1945 г. в Лаборатории №2 облучением закиси-окиси урана радий-бериллиевым источником нейтронов и в Радиевом институте при облучении солей урана на циклотроне.

Работы по созданию ядерного оружия в стране существенно усилились после создания правительственных организаций — Специального комитета и Первого главного управления при Совнаркоме СССР. По их заданию в конце 1945 г. в Радиевом институте была начата разработка технологии получения плутония из облученного урана для строительства будущего радиохимического завода. Требования к чистоте плутония по содержанию примесей по тем временам были исключительные.

В тонне облученного урана ожидалось накопление сотни граммов плутония и примерно такого же количества осколочных элементов. Количество радиоактивных примесей в плутонии после выделения и очистки оценивалось

на уровне 10^{-5} %. Технологическая схема получения плутония разрабатывалась под научным руководством В.Г. Хлопина. Работы проводились с имитаторами — химическими аналогами плутония (лантан, торий, нептуний) и импульсными количествами плутония-239. С учетом литературных данных были изучены многие варианты и сочетания операций с разными валентными состояниями плутония.

В апреле 1946 г. Радиевым институтом совместно с ГИПХ была представлена "Технологическая часть проектного задания объекта Б" — первого радиохимического завода выделения плутония из облученных в ядерном реакторе урановых блоков. Она была подписана В.Г. Хлопиным, Б.А. Никитиным, А.П. Ратнером от Радиевого института, Я.И. Зильберманом и Н.К. Хованским от проектной организации. В этом документе были проанализированы результаты лабораторных экспериментов, выбрана для проектирования и дальнейшей отработки ацетатно-лантан-фторидная схема. Одновременно была запроектирована эфирная очистка концентрата плутония, образующегося после цикла ацетатных осаждений.

В 1946 г. во вновь организованном в Москве институте НИИ-9 под руководством З.В. Ершовой и В.Д. Никольского были начаты работы по получению плутония. Вначале на имитаторах были проведены исследования по ацетатно-фторидной, лантан-фторидной и эфирной схемам. В конце 1946 г. была введена в действие опытная установка У-5. Большую роль в ее создании и работе сыграли В.Б. Шевченко (директор института), З.В. Ершова, М.В. Угрюмов. Установка предназначалась для проверки проектируемой технологии с использованием урановых блоков, облученных в реакторе Ф-1 Лаборатории №2. Эти работы проводились совместно с группой ленинградских специалистов под общим научным руководством Б.А. Никитина — заместителя директора Радиевого института; научное руководство по аналитическим вопросам осуществлял А.П. Виноградов, директор ГЕОХИ.

Установка У-5 сыграла большую роль в отработке технологического процесса переработки облученных урановых блоков. Были уточнены регламентные показатели раздельного растворения в азотной кислоте алюминиевых оболочек и металлического урана, операции окислительных и восстановительного ацетатных осаждений, щелочного концентрирования плутония с получением азотнокислого раствора концентрата плутония.

Лантан-фторидная часть была проверена меньше из-за сильной коррозии материала аппаратуры. Детально отработан эфирный узел очистки концентрата плутония после ацетатных осаждений. Определены конструктивные особенности аппаратуры, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики. Отработаны аналитические методы контроля технологического процесса. Полученный материал сыграл неоценимую роль для проектировщиков и эксплуатационников, стал основой для составления технологических инструкций на заводе.

Другая важная часть работы У-5 состояла в получении весомых количеств плутония. В середине 1947 г. из растворов облученного урана в результате ацетатных осаждений был получен первый концентрат плутония и после дополнительных операций по очистке с использованием лантан-сульфатного метода и пероксидных осаждений — чистый препарат нитрата плутония в количестве 73 мкг. Для получения последующих препаратов плутония для доочистки после ацетатных осаждений применялась эфирная экстракция. К концу 1948 г. на установке У-5 было наработано 300 мг плутония. Из этих препаратов были получены первые миллиграммы металлического плутония. Появилась возможность приступить к проверке технологической схемы аффинажа плутония для химико-металлургического завода (завод "В"), предложенной ИОНХ (И.И. Черняев, А.Д. Гельман) и НИИ-9 (В.Д. Никольский).

В результате проведенных опытных работ на установке У-5 и дополнительных исследований в институтах в середине 1948 г. была выдана модифицированная технология радиохимического завода "Б". Генеральным проектировщиком ГСПИ-11 (А.И. Гутов, В.В. Смирнов, А.З. Ротшильд, Я.И. Зильберман) был заложен в проект завода принцип компоновки оборудования и осуществления технологических процессов по отделениям с периодическим порционным проведением операций: растворение алюминиевых оболочек блоков и самих урановых блоков в азотной кислоте; окисление плутония до шестивалентного состояния и совместное осаждение урана и плутония ацетатом натрия (окислительное ацетатное осаждение), в результате чего происходит очистка от продуктов деления — они остаются в декантактах; повторение операций для повышения очистки; восстановление плутония и осаждение урана ацетатом натрия (восстановительное ацетатное осаждение) — при этом плутоний остается в растворе, урановый осадок отделяется на фильтрах с получением товарного продукта натрий уранилтриацетата, который после выдержки подлежал передаче на другие предприятия для дальнейшего использования; далее осаждение плутония щелочью с получением после растворения в азотной кислоте концентрата плутония; очистка концентрата плутония с использованием фторида лантана, после чего осаждается фторид плутония и плутоний передается на аффинаж на завод "В". В отделении № 12 была предусмотрена эфирная очистка концентрата плутония (параллельные операции лантан-фторидной очистки), где вначале из восстановительной среды извлекался уран, затем плутоний окислялся до шестивалентного и извлекался диэтиловым эфиром, после реэкстракции в воду раствор упаривался и передавался в виде товарного азотнокислого раствора на аффинаж.

Аппаратура завода "Б" размещалась в отдельных каньонах, при этом аппараты с растворами наибольшей активности находились на самой низкой отметке на одном этаже; в остальных отделениях было принято многоэтажное расположение оборудования. Для разделения твердой и жидкой фаз при-

меняли отстаивание и декантацию осветленной жидкости; фильтры были на продуктах с малой активностью. Транспортировка растворов осуществлялась с помощью вакуума или под давлением; перемешивание активных растворов — путем барботажа с помощью эрлифта.

К работе над проектом завода были привлечены многие организации. Технологическая аппаратура завода была запроектирована по техзаданиям ГСПИ-11 НИИхиммашем; специальная арматура дистанционного управления разработана Центральным конструкторским бюро арматуры (ЦКБА), специальные контрольно-измерительные приборы — в Особом конструкторском бюро ОКБ-12. Все оборудование, арматура, приборы были изготовлены на отечественных заводах. ИФХАН выдал рекомендации по материалам для оборудования (А.Н. Фрумкин, П.А. Ребиндер) и занимался вопросами газоочистки совместно с НИИ-26 Минхимпрома.

Задача по уменьшению выбросов радионуклидов в атмосферу решалась несколькими путями. Предусматривалась выдержка облученных блоков после выгрузки из реактора (вначале 20 суток), в том числе для распада короткоживущих нуклидов; улавливание радиоактивного йода путем сорбции на силикагеле, пропитанном азотнокислым серебром; строительство высотной трубы (150 м) для снижения уровня загрязнения прилегающей к заводу территории.

Существенный недостаток ацетатного процесса — образование большого объема высокоактивных жидких отходов, до 50 куб. м на 1 тонну перерабатываемого урана. В соответствии с предложениями НИИ-9 проектом была предусмотрена двухступенчатая упарка этих растворов с отгонкой уксусной кислоты; образующийся после нейтрализации уксусной кислоты ацетат натрия предполагалось использовать на ацетатных осаждениях, маточный раствор хранить в специальных емкостях. Принятая в проекте технология не обеспечила решения вопроса с жидкими радиоактивными отходами.

Строительство завода "Б" на Комбинате № 817 было начато в августе 1946 г. и закончено в декабре 1948 г. В мае 1949 г. был закончен монтаж эфирного отделения. Для пуска завода были привлечены научные сотрудники РИАНа, НИИ-9, ГЕОХИ. В пусковую бригаду входили: Б.А. Никитин — руководитель бригады, И.Е. Старик, А.П. Ратнер, Б.П. Никольский (РИ), А.П. Виноградов (ГЕОХИ), М.В. Угрюмов, М.В. Гладышев, В.К. Марков (НИИ-9), Б.В. Громов, Н.С. Чугреев, М.И. Ермолаев (завод "Б"). Научное руководство в пуске и освоении эфирного отделения осуществляли Б.А. Никитин, В.И. Вдовенко (РИ). 26 февраля 1949 г. завод "Б" получил первую товарную продукцию и передал ее на аффинаж на завод "В".

К моменту пуска персонал завода был подобран из квалифицированных специалистов химической промышленности, цветной металлургии, оборонных отраслей промышленности, выпускников многих университетов и других высших учебных заведений и обучен. Первыми руководителями завода "Б", обеспечившими пуск завода, были директор — П.И. Точеный, главный

инженер — Б.В. Громов, главный энергетик Б.В. Брохович, главный механик — М.Е. Сопельняк, главный приборист — С.Б. Цфасман.

Начальный период пуска завода был напряженным. Сразу же дала знать неудачная компоновка технологического оборудования, излишне длинные коммуникации, высотное расположение аппаратов. При большой площади поверхности аппаратов и коммуникаций в результате сорбции плутония на металле создавались трудности ведения технологического процесса. Агрессивность сред вызывала коррозию оборудования и арматуры, что приводило к разгерметизации, загрязнению помещений, усложнению работы эксплуатационного персонала, его переоблучению. Особенные сложности были в отделении № 8 (лантан-фторидная очистка). Инженерным персоналом завода, научными сотрудниками исследовательских институтов и ЦЗЛ комбината была проведена большая творческая работа по освоению и преодолению трудностей сложного производства. Первым научным руководителем завода "Б" был А.П. Ратнер, с 1952 г. — Б.П. Никольский. ЦЗЛ комбината в эти годы возглавлял В.П. Шведов, затем — В.И. Широков, Г.А. Середа.

Обеспечение стабилизации технологического процесса, улучшение качества товарного урана и плутония, экономия реагентов, уменьшение объемов сбросных растворов, увеличение мощности завода, снижение облучаемости персонала — основные направления совершенствования производства в период его освоения. В каждом отделении изыскивались резервы улучшения технологии: увеличилась единовременная загрузка в аппараты, была изменена дозировка реагентов при ацетатных осаждениях, ацетат натрия частично заменен щелочью, введена система противоточных промывок, введено обратное щелочное осаждение.

Наиболее крупным достижением стала разработка цельно-ацетатной схемы, заключающейся в дополнительной очистке концентрата плутония после проведения операций головного цикла путем повторения окислительных и восстановительных ацетатных осаждений, щелочного концентрирования плутония с получением азотнокислого раствора (схема "ББ"). Основные разработчики цельно-ацетатной технологии — Б.В. Громов, А.П. Ратнер, Г.В. Мишенков, Н.Г. Чемарин. Схема "ББ" была проверена в лабораторном масштабе, на опытной технологической цепочке, затем было запроектировано и смонтировано оборудование нового отделения № 26. Цельно-ацетатная технология дала возможность отказаться от фторидной и эфирной очистки, так как преимущества были очевидны. Недостатки фторидной схемы — трудности при проведении технологических операций, неудовлетворительная очистка от примесей, сильная коррозия аппаратуры. Основной изъян эфирной схемы — взрывоопасность процесса. После реконструкции, осуществленной в период капитального ремонта 1952 г., мощность завода "Б" по сравнению с проектом была увеличена более чем в три раза.

Отметим ряд последующих значительных разработок, направленных на дальнейшую модернизацию процесса, повышение технологических показа-

телей завода. В ЦЗЛ комбината был разработан метод растворения алюминиевой оболочки в щелочно-нитратной смеси — это позволило снизить коррозию аппарата-растворителя, сократить объем сбросных растворов в два раза, снизить потери урана и плутония. Начиная с 1953 г., Радиевым институтом изучалось ацетатное осаждение с добавкой пероксида водорода, его применение на производстве повысило коэффициенты очистки от осколочных элементов, за счет чего было исключено второе окислительное ацетатное осаждение. На восстановительном ацетатном осаждении были введены добавки комплексообразователя — трилона Б, что снизило захват плутония осадком уранилтриацетата натрия в 1,5-2,5 раза.

Для снижения содержания осколков деления в товарном урановом продукте по предложению ИФХАН (В.И. Спицын, Б.А. Зайцев) введена марганцево-ниобиевая очистка.

Большое значение имели работы, проводимые на комбинате под руководством И.В. Петрянова (Физико-химический институт им. Карпова Минхимпрома) по повышению очистки от радиоактивных аэрозолей.

В конце 1949 г. ИФХАН (С.З. Рогинский) предложил новую схему переработки высокоактивных отходов: щелочное осаждение из ацетатных растворов, окислительное ацетатное осаждение с возвратом урана и плутония в голову основного процесса, декантат — на долговременное хранение. Осуществились на практике эти процессы только в 1952-1953 гг. после ввода в эксплуатацию соответствующих зданий и оборудования. Объем высокоактивных растворов сократился в 20 раз. Нерешенность вопросов обращения с радиоактивными отходами на ранней стадии работы завода "Б" привели к загрязнению р. Теча и облучению проживающего вблизи нее населения.

В 1952 г. возникла необходимость в строительстве новых плутониевых заводов. Кроме того, существующий завод "Б", несмотря на введение многих усовершенствований в технологии и оборудовании, не обеспечивал выполнение санитарных требований. На Комбинате № 817 было составлено задание на проектирование нового радиохимического завода "ДБ". При составлении этого задания учитывался огромный экспериментальный материал по созданию технологических схем переработки облученных урановых блоков.

За период с 1945 г. изучались, разрабатывались и частично использовались в производстве многие технологические процессы. Конечную технологическую проверку на реальных растворах они проходили в ЦЗЛ Комбината № 817 и (или) непосредственно на заводе "Б".

Перечислим основные схемы:

- Ацетатно-фторидная и ацетатно-эфирная (Радиевый институт).
- Цельно-ацетатная (Комбинат № 817 и Радиевый институт).
- Марганцево-сульфатная (Лаборатория № 2).
- Карбонатная схема (ИОНХ).

- Трансформация оксалатной схемы Радиевого института с использованием на отдельных стадиях ацетатной технологии (Комбинат №817).
- Цельно-эфирная (Радиевый институт и НИИ-9).

Прорабатывались предложения об использовании вместо диэтилового эфира других экстрагентов — дибутилового эфира, хлорекса, их смесей с другими компонентами.

Учитывая опыт производственного использования цельно-ацетатной схемы, стабильность ее показателей, выбор был сделан в пользу этой технологии для завода "ДБ" Комбината № 817 и заводов "Б" Комбинатов № 815 и № 816.

Развернулось проектирование и строительство трех радиохимических заводов. При этом был учтен положительный опыт освоения первого радиохимического завода и устранены его недостатки. В технологию были внесены все новейшие разработки, особенно направленные на повышение качества товарной продукции. Аффинаж плутония был перенесен на завод "ДБ" — его товарной продукцией становилась двуокись плутония.

Важнейшей задачей при проектировании было коренное улучшение условий труда работников завода. Принципиально новой стала зональная компоновка помещений: первая зона — грязная, где находятся аппараты с активными растворами; вторая зона — ремонтная, третья зона — чистая, к ней относятся помещения, в которых постоянно находится обслуживающий персонал. Помещения первой зоны расположены на нижних отметках, облицованы нержавеющей сталью для возможной дезактивации; они находились под небольшим разрежением. Оборудование было размещено так, что все аппараты, вентили, трубы, связанные с активными растворами, располагались на нижних отметках на одном этаже; каждый аппарат — в отдельном каньоне, вентили — в отдельных вентильных камерах, трубы — в специальном трубном коридоре. Ниточное расположение аппаратов, над ними монтажный зал, в котором были установлены специальные краны для дистанционной разборки перекрытий каньонов. Все аппараты — герметизированы, трубы приварены к штуцерам аппаратов без фланцевых соединений. Для дистанционного обслуживания и осмотра труб — специальные кабины, передвигающиеся по трубному коридору; замена вентилей специальным агрегатом. Пробоотбор дистанционный с помощью манипуляторов, установленных в камерах химпробоотбора, эти камеры связывались с лабораторией механизмом транспортирования доставки проб, управляемым дистанционно. В проекте достойное внимание было уделено автоматизации технологических процессов. Существенно усовершенствована очистка отходящего воздуха путем установки сотаров с предварительным охлаждением.

Северная нитка завода была пущена в сентябре 1959 г., на следующий год — южная нитка. Первыми руководителями завода "ДБ" были: директор М.В. Гладышев, главный инженер — В.П. Балановский, заместители главного инженера — Е.И. Микерин, Г.Д. Торопов.

Активная роль в освоении и совершенствовании технологии завода "ДБ" принадлежит ЦЗЛ комбината, Радиевому институту, ИФХАН, НИИ-9, НИИ-10. Принципиальным шагом в совершенствовании технологии завода "ДБ" была разработка, проверка на опытной полупромышленной установке СМ-35 и промышленное освоение сорбционной очистки плутония с применением винилпиридиновых смол (Б.П. Никольский, В.И. Парамонова, Б.Н. Ласкорин). Заводы "Б" на Комбинатах № 815 и № 816 были освоены в более поздние сроки. Основные решения по технологии, оборудованию близки к заводу "ДБ".

Перевод технологии завода "ДБ" и заводов "Б" на экстракционно-сорбционную выходит за период 50-х годов.

Начиная с 1945 г., над разработкой экстракционной технологии, созданием экстракционного оборудования работали большие коллективы ученых, специалистов Радиевого института, НИИ-9, НИИ-10, ЦЗЛ Комбината № 817, НИИхиммаша, НИКИМТ, СвердНИИхиммаша. В конце концов, остановились на экстрагентах на основе трибутилфосфата, его использовали с двумя типами разбавителей: тяжелыми (М.Ф. Пушленков, В.И. Землянухин, Е.А. Филиппов, В.В. Ревякин) и легкими (В.Б. Шевченко, В.Д. Никольский, В.С. Колтунов, С.М. Карпачева).

Большую роль в установлении основных технологических показателей экстракционной технологии на основе трибутилфосфата и проверки их на реальных растворах облученного урана сыграли работы комплексной бригады НИИ-9, Радиевого института и Комбината № 817 в горячей камере ЦЗЛ в 1956-1957 годах и последующие работы на укрупненной опытной установке Б-3 завода "Б" Комбината № 817 в 1959-1960 годах.

Были разработаны эффективные процессы, на экстракционно-сорбционную технологию были переведены все три радиохимических завода переработки облученных стандартных урановых блоков. Этот переход обеспечил значительное повышение технико-экономических показателей по извлечению плутония и урана, стабильность их разделения и очистки от продуктов деления, в 15-20 раз сократился объем солесодержащих радиоактивных отходов. Непрерывный экстракционный процесс создал условия для новой ступени автоматизации производства.

С 1955 г. усилия исследователей были направлены на переработку обогащенных по урану блоков, твэлов транспортных реакторов, атомных электростанций. Технологические схемы тщательно отрабатывались. Завод "Б" Комбината № 817 был реконструирован для экстракционной переработки этой продукции, на его основе был создан завод "РТ" с использованием ТБФ с углеводородным разбавителем (В.Д. Шевченко, А.С. Никифоров, Б.В. Никипелов, В.С. Шмидт, Б.С. Захаркин).

ПЕРВАЯ "ГОРЯЧАЯ" РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

И.А. Реформатский, Г.Н. Яковлев

Ввод в действие в декабре 1946 г. в Лаборатории № 2 — ныне РНЦ "Курчатовский институт" — первого не только в нашей стране, но и в Европе ядерного реактора Ф-1, а затем в июне 1948 г. вывод на проектную мощность промышленного реактора на комбинате № 817 на Урале не только ознаменовали собой овладение нашими отечественными учёными, инженерами, рабочими энергией атома, но и открыли широкий путь для развития дальнейших исследований, связанных с изучением делящихся и конструкционных материалов, активированных в процессе работы ядерного реактора. Так как активность изучаемых материалов при этом на много порядков превышала ту, с которой приходилось иметь дело ранее, потребовались принципиально иные методы, иная техника работы с новыми объектами изучения, обеспечивающие как возможность проведения исследований с микроколичествами вещества, так и необходимую биологическую защиту исследователей.

В конце августа 1949 г. после успешного испытания атомной бомбы, высоко оценённого руководством страны, возглавлявший "урановый проект" акад. И.В. Курчатов получил возможность поставить перед правительством вопрос о строительстве исследовательского комплекса, включавшего высокопоточный ядерный реактор для физических и технических исследований (РФТ) тепловой мощностью 10000 кВт и максимальной интенсивностью потока тепловых нейтронов в центре активной зоны $8 \cdot 10^{13}$ нейтр./$см^2$ сек, а также "горячую" лабораторию, оборудованную специальной биологической защитой для персонала, дистанционным управлением и манипуляторами, позволяющую проводить химические и материаловедческие исследования облучённых в РФТ материалов высокой активности.

Научным руководителем радиохимической (аналитической) лаборатории был утверждён один из авторов настоящего доклада Г.Н. Яковлев, сумевший выделить незадолго до того первые весовые количества отечественного плутония, а материаловедческой — создатель научного направления радиационного материаловедения С.Т. Конобеевский.

Несколько неточный термин "горячая" лаборатория (Hot Lab) перекочевал к нам из американских литературных источников наряду с первоначальным наименованием ядерного реактора "котёл" (Pile). Более точное название лабораторий для работы с высокоактивными материалами — защитные лаборатории, ибо они обеспечивают биологическую защиту операторов от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Создание указанного комплекса представило собой проблему чрезвычайной сложности не столько в смысле её финансового и материального обеспечения, сколько в решении многочисленных технологических, технических и конструкторских задач, каждая из которых не имела аналогов в нашей стране.

Имея ничтожные количества подлежавшего изучению материала и далеко не исчерпывающие сведения о его физико-химических и механических свойствах, необходимо было не только чётко себе представить последовательность и характер проводимых операций, но и техническое обеспечение всех процессов. В отличие от созданной в НИИ-9 (ныне ВНИИНМ им. акад. А.А. Бочвара) в 1947 г. опытной установки № 5, на которой в 1947-48 гг. проверялась осадительная технология и опробовались оборудование и контрольно-измерительная аппаратура для строящегося радиохимического завода в условиях максимальной активности, не превышавшей 10 Ки, в новом комплексе предполагалось проводить исследования с материалами, активность которых должна была быть на три порядка выше при энергии гамма-излучения 1 МэВ.

Планировка исследовательского комплекса предусматривала общий приёмный блок, где должны были осуществляться приём и разгрузка контейнера с высокоактивным материалом. Оттуда образцы с помощью транспортной системы направлялись в радиохимическую или материаловедческую лабораторию для дальнейшего исследования.

При создании "горячей" радиохимической лаборатории (РХЛ) и молодые научные работники, которым предстояло в ней работать, и инженеры, которые должны были проектировать лабораторию и конструировать для неё оборудование, должны были практически начинать свою работу с чистого листа, не имея подобного прецедента. Отрывочные сведения, появившиеся в зарубежной печати, не могли служить достаточно подробным исходным материалом. Работа осложнялась ещё и тем, что все технологические операции будущим исследователям предстояло выполнить дистанционно, без привычного непосредственного контакта оператора с оборудованием и

самим веществом, а количество последнего могло колебаться от десятков литров до долей миллилитра.

Для работы в будущей "горячей" лаборатории была принята группа молодых специалистов — радиохимиков, выпускников Московского и Ленинградского университетов и химико-технологических институтов, которые и составили ядро будущего коллектива — И. Швецов, В. Косяков, В. Дедов, В. Сёмочкин и др. В их числе был и один из авторов настоящего доклада.

К проектированию лаборатории были привлечены опытные и инициативные проектанты и конструкторы из ГСПИ-11 Я.Я. Попов, В.В. Аристов, М.М. Логунов, Д.А. Кульда. Вместе с ними активно трудились инженеры ЛИПАНа В.А. Караджев, В.М. Киреев. Большую выдумку и смекалку проявляли рабочий-механик В. Водопьянов, стеклодувы Петушковы из прославленной династии мастеров высочайшего класса и др. во главе с начальником мастерских М.О. Марцышевским.

Планировка РХЛ осуществлялась по трёхзональному принципу. В первой, наиболее опасной зоне располагались "горячие" камеры с высокоактивными материалами, с которыми предстояло работать. Доступ в эту зону под строгим дозиметрическим контролем был возможен лишь после удаления источников ионизирующих излучений и дистанционной дезактивации камер. Вторая, ремонтная, зона с ограниченным контролируемым доступом в нее и временным пребыванием в ней персонала предназначалась для транспортировки образцов из приёмно-раздаточной камеры в камеру технологическую и предварительного монтажа в ней необходимого оборудования для проведения очередного эксперимента. Операторы-исследователи находились в помещениях третьей, условно чистой зоны. Помимо операторских и препараторских, где выполнялись работы с неактивными материалами, в помещениях третьей зоны располагались герметичные боксы для исследования альфа- и бета-активных образцов.

Работа в камерах требовала надёжных систем дистанционной передачи движений и усилий (СДПДУ), ранее не существовавших в нашей стране, а также систем дистанционного наблюдения (СДН), так как все операции выполнялись в условиях, когда оператор был отделён от объекта исследования стеной метровой толщины, сделанной из бетона повышенной плотности и чугунной закладной плитой, в которую монтировались манипуляторы (СДПДУ) и смотровые окна (СДН) тех или иных типов.

При проектировании РХЛ особое внимание было уделено гарантированному исключению возможности попадания радиоактивных загрязнений в помещения, где находится персонал. С этой целью помещения первой зоны сообщаются лишь с помещениями второй зоны, которая отделена от условно чистых помещений третьей зоны санитарным шлюзом. Для того, чтобы загрязнённый воздух из первой зоны (камер) не мог попасть через технологические каналы в закладной плите, по которым перемещаются манипуляторы, в помещения третьей зоны (операторские), в камерах по-

стоянно поддерживается строго контролируемое пониженное давление, сблокированное с системой освещения, которое не может быть включено при неработающей вентиляции, обеспечивающей 15-кратный обмен воздуха в час.

Камеры РХЛ представляют собой помещения размером 2x3x3,5 м, облицованные внутри полированной нержавеющей сталью. Управление подачей в камеру холодной и горячей воды, сжатого воздуха и включение вакуумной линии и электропитания осуществляются с пульта, находящегося в операторской. Пол камеры имеет некоторый уклон, благодаря которому случайно пролитая жидкость стечёт в предохранительный бачок, расположенный ниже уровня пола, оттуда может быть потом откачана при помощи вакуумной системы. Для слива промывных вод в спецканалазацию, изолированную от общей хозяйственно-фекальной канализации, в углу камеры имеется сток, закрытый дистанционно открываемой пробкой.

В качестве систем дистанционного наблюдения прямого видения были использованы круглые смотровые окна диаметром 600 мм, собранные из последовательных пластин из силикатных стёкол различных марок, обеспечивающих защиту как от мощного гамма-излучения, так и от вторичных электронов, образующихся при взаимодействии гамма-квантов с тяжёлыми элементами, входящими в состав свинцовых стёкол. Для поглощения вторичных электронов, а также для защиты внешнего стекла от механических повреждений, его покрывают тонким листом органического стекла.

Впоследствии для улучшения обзора круглые смотровые окна серии ОСК (окно стеклянное круглое) были заменены прямоугольными серии ОСП (окно стеклянное прямоугольное) размером 500×700 мм. И в первом, и во втором случае обеспечивается необходимый защитный эквивалент по чугуну.

Для передачи движений и усилий были использованы специально разработанные в ГСПИ-11 механические копирующие манипуляторы. Первоначально передача движения "вверх-вниз" происходила в зеркальном отображении: при подъёме задающего механизма исполнительный механизм опускался и наоборот. Неудобства при пользовании такими манипуляторами вызвали необходимость изменить его конструкцию. При сохранении основных габаритов и технических возможностей в модернизированных манипуляторах от зеркального выполнения вертикальных движений удалось перейти к прямому, а часто выходившая из строя тросовая связь между задающим и исполнительным механизмами была заменена на ленточную.

Помимо "горячих" камер в РХЛ были расположены "полугорячие" помещения, оснащённые герметичными перчаточными боксами, предназначенными для работы с источниками альфа- и бета-излучения. Кроме того, в этих помещениях были смонтированы некоторые специальные установки, среди которых следует назвать полуавтоматическую хроматографическую установку АХУ, предназначенную для группового и внутригруппового раз-

деления трансурановых и редкоземельных элементов. Установка АХУ состояла из хроматографической колонки, регистратора активности, счётного устройства и автоматического коллектора фракций, что позволяло собирать фракции вытекающего из колонки раствора объёмом от 1 до 50 капель с активностью от нескольких десятков до $1{,}8 \cdot 10^5$ имп./мин с идентифицированными компонентами.

Пуск и освоение РХЛ позволили выполнить ряд важных работ, целью которых было получение точных ядерно-физических характеристик продуктов, выделенных из материалов, облучённых как в исследовательском реакторе РФТ, так и в промышленных реакторах, работавших на комбинате № 817. В камерах отрабатывались и испытывались технологические схемы переработки ядерного топлива различных типов. Эксплуатация РХЛ позволила осуществить ряд работ, связанных с получением весовых количеств и изучением физико-химических и ядерных свойств трансурановых элементов.

Вся работа по проектированию, строительству и пуску РХЛ производилась под непосредственным руководством и строжайшим контролем над соблюдением технических параметров и сроков исполнения отдельных этапов создания "горячей" лаборатории акад. И.В. Курчатова. В предпусковой период он регулярно приходил в готовящуюся к пуску лабораторию и проводил короткие, деловые совещания с участием не только будущих сотрудников РХЛ, проектантов и конструкторов, но и рабочих, к рационализаторским предложениям которых всегда внимательно прислушивался. На этих совещаниях оперативно принимались конкретные решения, выполнение которых обеспечивалось широкими возможностями и авторитетом И.В. Курчатова среди руководителей всех отраслей и ведомств народного хозяйства страны.

Пуск "горячей" лаборатории в ЛИПАНе позволил развернуть строительство лабораторий для работы с материалами высокой активности в ряде академических и отраслевых институтов (ГЕОХИ им. акад. В.И. Вернадского, НИФХИ им. Л.Я. Карпова), а также в ядерных центрах, создание которых развернулось по инициативе акад. И.В. Курчатова в ряде бывших союзных республик (Украина, Казахстан, Узбекистан, Грузия, Латвия).

Опыт эксплуатации исследовательского "горячего" комплекса в ЛИПАНе послужил также основанием для дальнейшей разработки технических средств дистанционного наблюдения в полях высокой активности (СДН) и средств дистанционной передачи движений и усилий (СДПДУ), а также создания ряда оригинальных установок для работы с высокоактивными материалами. Развитием работ, выполненных в "горячем" комплексе, явилось проектирование и строительство Научно-исследовательского института атомных реакторов (НИИАР), первоначально предполагавшегося в качестве филиала ЛИПАНа, ставшего к тому времени Институтом атомной энергии. Для этого в составе института было создано специальное конструкторское бюро, которое возглавили опытные конструктора Д.И. Шеффер и М.А. Андреев.

Строительство филиала вначале предполагалось в районе Тушино, неподалёку от Октябрьского поля, где находился ИАЭ. Однако расположение нового ядерного центра в пределах Москвы было отклонено органами Санэпиднадзора. По второму варианту центр намеревались создавать невдалеке от Дубны, где уже работал Объединённый институт ядерных исследований, имевший необходимую инфраструктуру. Но и этот вариант не удалось реализовать из-за отсутствия на месте подходящей мощной строительной организации.

Окончательный выбор пал на площадку, расположенную невдалеке от гор. Мелекесса (ныне Димитровграда), в 80 км к востоку от гор. Ульяновска, где вначале планировалось строительство промышленного комбината наподобие уральского "Маяка" (ранее известного как комбинат № 817). Там уже были проведены изыскательские работы, подведены дороги, обеспечено электроснабжение от Куйбышевской ГЭС. Строительство комбината в этом месте не было осуществлено из-за опасения, что радиоактивные сбросы и иные загрязнения могли бы попасть в Волгу, и таким образом, по предложению министра Е.П. Славского, было принято решение использовать эту площадку для строительства нового ядерного центра, используя уже имеющийся задел, что в известной степени сокращало потребные затраты и экономило время.

Проектированию радиохимического и материаловедческого корпусов, выполнявшемуся сотрудниками ГСПИ-11 (ныне ВНИИПИЭТ) во главе с главным инженером проекта М.Л. Барским, предшествовала большая работа по изучению отечественного и зарубежного опыта строительства и эксплуатации подобных лабораторий и применявшегося в них оборудования. Результаты были представлены в правительство для обоснования необходимого финансирования и размещения заказов на изготовление специального оборудования и приборов. В этой работе вместе с созданным КБ по проектированию филиала ИАЭ принимали участие авторы предлагаемого доклада вместе со своими коллегами и сотрудниками.

Многолетняя эксплуатация как первой "горячей" радиохимической лаборатории РНЦ "Курчатовский институт", так и научно-исследовательских центров, подтвердила правильность стратегического направления, предложенного акад. И.В. Курчатовым, нацеленного на развитие отечественной атомной энергетики, ядерной физики и радиохимии.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кружилин Г.Н.** "Реактор для физических и технических исследований". Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, доклад Р-620, т. 2, стр. 507.

2. **Яковлев Г.Н., Дергунов Е.П., Реформатский И.А., Дедов В.Б.** "Горячая аналитическая лаборатория". Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, доклад Р-672, т. 7, стр. 75.

3. **Правдюк Н.Ф.** "Металловедческая "горячая" лаборатория". Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, доклад Р-673, т. 7, стр. 66.

4. **Логунов М.М.** "Принципы устройства универсальных механических копирующих манипуляторов". Сб. "Механика машин", вып. 7-8, М., "Наука", 1967.

5. **Наумов И.В.** "Кистевой захват-манипулятор". Авт. свид. № 115714.

6. **Сидоров П.С., Шапкин А.А., Дедов В.Б.** "Автоматический коллектор фракций", "Приборы и техника эксперимента", № 4, 1957.

7. **Дедов В.Б., Зенкова Р.А., Трухляев П.С.** "Выделение весовых количеств кюрия хроматографическим методом", отчёт ИАЭ № 18719.

8. **Yakovlyev G.N. and Dedov V.B.** "The Development of Methods for Remote Control Operations in the Radiochemical Laboratories of the Academy of Sciences of the USSR". Proceedings of the Second Unit. Nations Intern. Conference on the Peaceful Uses Atomic Energy" Geneva. 1958, P/2026, v. 17, p. 652.

9. **Реформатский И.А.** "Лаборатории для работ с радиоактивными веществами", М., Госатомиздат, 1963.

10. **Реформатский И.А.** "Горячие и изотопные лаборатории", М., Атомиздат, 1971.

11. **Яковлев Г.Н., Реформатский И.А., Шеффер Д.И.**, Техническое задание на разработку радиохимической лаборатории при реакторе СМ-2, 1956.

12. **Яковлев Г.Н., Феофанов А.П., Реформатский И.А.**, документ МАГАТЭ "Manual on Design and Equipment on Hot Radiochemical Laboratories", 1965.

13. **Реформатский И.А., Мотин Ю.Д., Нужин В.Н.** "К вопросу о рациональном выборе систем дистанционной передачи движений и усилий", доклад на 4-м Симпозиуме по теории и принципам устройства манипуляторов, Институт машиноведения АН СССР, Москва, 1972.

14. **Реформатский И.А., Викторова Ю.Н., Мотин Ю.Д.** "Радиационно стойкий оптический элемент", Авт. свид. № 356699.

15. **Реформатский И.А., Мотин Ю.Д., Жихорев Н.И., Малахов И.К., Синицын П.Р., Иванов Н.М.** "Устройство для дистанционного наблюдения объектов", Авт. свид. № 297938.

16. **Реформатский И.А., Мотин Ю.Д., Иванов Б.И.** "Устройство для дистанционного наблюдения объектов", Авт. свид. № 911433.

17. **Реформатский И.А., Иванов Б.И., Мотин Ю.Д.** "Устройство для дистанционного наблюдения объектов", Авт. свид. № 911434.

18. **Реформатский И.А., Иванов Б.И., Мотин Ю.Д.** "Устройство для дистанционного наблюдения объектов", Авт. свид. № 911435.

19. **Реформатский И.А., Мотин Ю.Д., Синицын П.Р., Иванов Н.М., Малахов И.К., Иванов Б.И.** "Device for Remote Viewing of Objects in Ionizing Radiation Fields" , US Patent № 4, 229, 069.

ОСВОЕНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ НА ПО "МАЯК"

Н.С. Бурдаков, И.Т. Березюк, Н.Я. Русинов,
В.В. Шидловский, В.И. Шевченко, В.И. Меркин

ВВЕДЕНИЕ

Разработка первых промышленных ядерных реакторов, их строительство и монтаж оборудования были важным этапом создания атомного оружия. Основные исторические вехи этих событий изложены в ряде изданий [1-3]. Однако информация об освоении и совершенствовании реакторной технологии практически не излагалась в открытой печати.

Необходимость быстрейшего получения плутония для создания атомной бомбы предопределила темпы создания реакторов, которые практически не позволяли до пуска закончить в полном объеме НИОКР по многим важным вопросам. Отработка реакторной технологии, проведение множества экспериментальных и опытных работ осуществлялись непосредственно при пуске и эксплуатации реакторов в тяжелейших условиях при высоком радиационном воздействии на персонал.

Научное руководство разработкой реакторной технологии осуществляли академики И.В. Курчатов, А.П. Александров, А.А. Бочвар, Н.А. Доллежаль, А.И. Алиханов, В.В. Владимирский, доктор физ.-мат. наук В.С. Фурсов.

Большой вклад в освоение и развитие этой технологии внесли руководители комбината 817 (теперь ПО "Маяк") В.И. Меркин, Н.А. Семенов, Б.В. Брохович, Л.В. Кириллов, А.Е. Спирин, Г.Б. Померанцев.

ПО "Маяк" фактически было производственно-экспериментальной базой отечественного реакторостроения. Здесь были построены и эксплуатировались несколько типов реакторов: первый уран-графитовый реактор А, реакторы АВ повышенной мощности, экспериментальный реактор АИ, тяжеловодные реакторы. Опыт эксплуатации этих реакторов был положен в дальнейшем в основу разработки ряда атомных электростанций.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРВОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УРАН-ГРАФИТОВОГО РЕАКТОРА

Конструкцию первого промышленного реактора А для наработки оружейного плутония разрабатывали несколько организаций. В начале 1946 г. главным конструктором был назначен директор НИИХИММАШа Н.А. Доллежаль, а главным технологом — В.И. Меркин, который впоследствии стал первым главным инженером этого реактора. Разработку опорных стальных конструкций и расчет их прочности выполнил коллектив института "Проектстальконструкция" под руководством Н.П. Мельникова. Проекты здания реактора и вспомогательных сооружений были разработаны в Ленинградском ГСПИ-11.

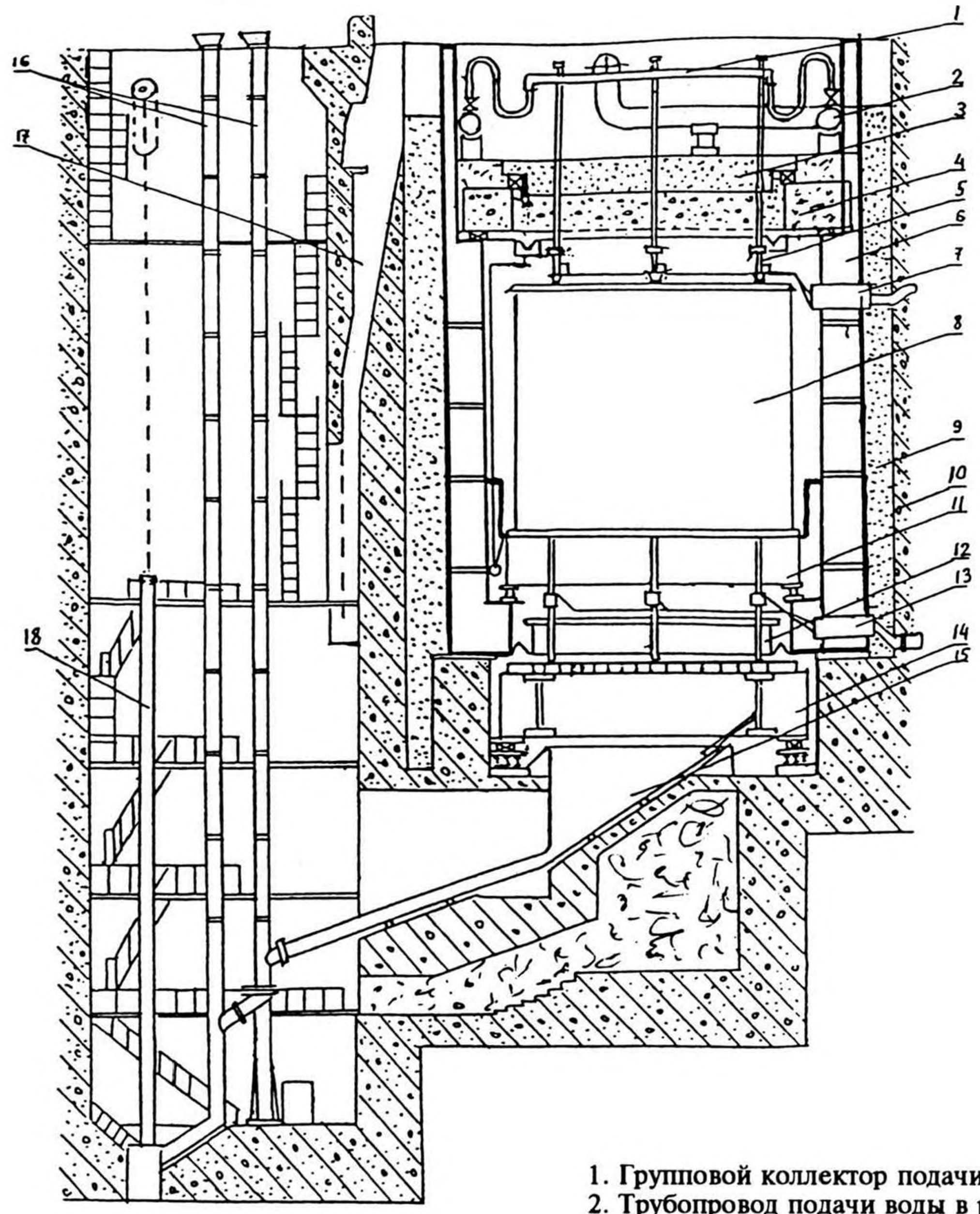
Рабочие чертежи общего вида стальных конструкций подписали 30 апреля 1947 г. И.В. Курчатов, Н.А. Доллежаль, В.И. Меркин, П.А. Деленс.

В процессе разработки компоновки реактора наиболее дискуссионной проблемой был выбор способа расположения технологических каналов — в горизонтальном или вертикальном варианте [1]. Было известно, что в США реализован вариант горизонтального расположения. В НИИХИММАШе разрабатывали вертикальный вариант, в ГСПИ-11 и ОКБ Гидропресс — горизонтальный вариант. После длительного рассмотрения в марте 1946 г. был принят вертикальный вариант. Как показала практика эксплуатации, выбор был сделан удачно.

Принципиальная схема реактора А представлена на рис. 1.

Разработку разгрузочных кассет реактора на конкурсной основе вели параллельно НИИИХИММАШ и ОКБМ (руководитель Ю.Н. Кошкин). При испытании кассет на стенде выяснилось, что конструкция ОКБМ работает безотказно, а НИИХИММАШа — периодически выходит из строя. По предложению Меркина и решению Курчатова начатый монтаж разгрузочных кассет НИИХИММАШа был прекращен и в реактор стали устанавливать кассеты конструкции ОКБМ. Несмотря на некоторую задержку пуска реактора А, это решение оказалось правильным. За весь период работы реакторов на ПО "Маяк" конструкция разгрузочных кассет не претерпела каких-либо существенных изменений, они показали высокую надежность.

Весьма важным элементом конструкции ядерного реактора, определяющим ресурс и надежность его работы, является графитовая кладка. На рис. 2 представлена схема графитовой кладки. В реакторе А и последующих реакторах выбран довольно простой вариант графитовой кладки, состоящей из блоков с размерами 200×200×600 мм. Перевязка кладки по горизонтали осуществлена за счет установки в ее нижнем и верхнем слоях чередующихся графитовых блоков высотой 200, 400, 600 мм и за счет смещения центра отверстий канальных труб. Центровка колонн достигнута за счет наличия выступов и впадин в каждом графитовом блоке.



1. Групповой коллектор подачи воды
2. Трубопровод подачи воды в реактор
3. Верхняя биологическая защита
4. Верхняя опорная конструкция
5. Переходные детали ячейки реактора
6. Баки водяной защиты
7. Барабан трубок подачи азота
8. Графитовая кладка реактора
9. Монтажное пространство, засыпанное песком
10. Боковая бетонная биологическая защита
11. Промежуточная опорная конструкция
12. Сливной бак
13. Барабан трубок контроля влажности газа, продуваемого через реактор
14. Нижняя опорная конструкция
15. Разгрузочный бункер
16. Разгрузочные шахты
17. Сухая шахта
18. Аварийный ковш

Рис. 1. Конструктивная схема реактора А

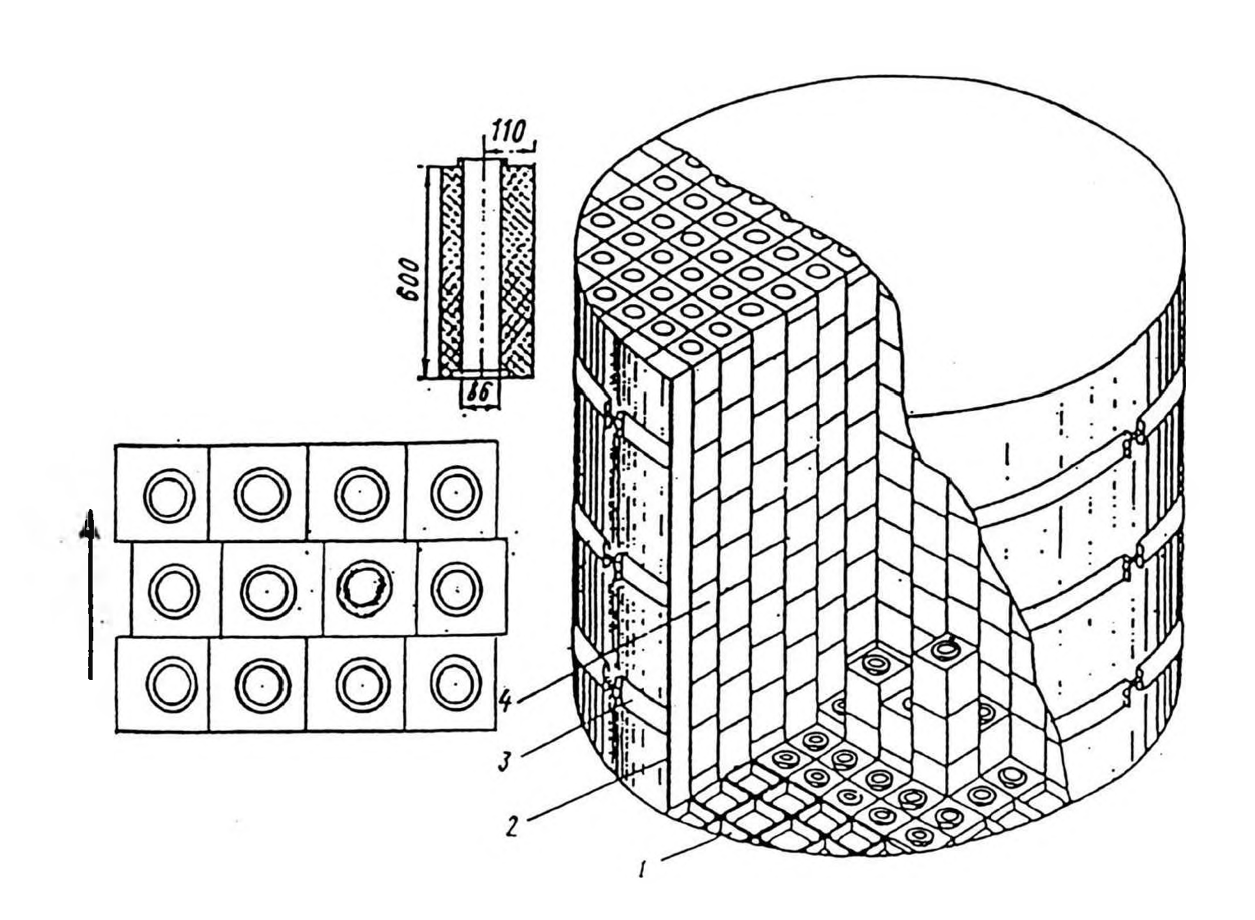


Рис. 2. Схема графитовой кладки реактора АИ.
1 — опорная конструкция; 2 — кожух;
3 — стягивающие бандажи; 4 — графитовый блок

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАФИТОВЫХ КЛАДОК

На момент пуска реактора А сведений о поведении графита при нейтронном облучении не было. Уже в 1950 г. была поставлена задача форсирования мощности реактора. Для ее решения необходимо было ответить по крайней мере на два вопроса:

- как скорость выгорания графита зависит от температуры, и какие меры надо принять для предотвращения выгорания;
- как изменяются физико-механические свойства и размеры кладки в зависимости от флюенса нейтронов и температуры.

Первоначально работы проводились под руководством И.В. Курчатова. Было показано, что в потоке воздуха при температуре выше 300 ^{0}C наблюдается экспоненциальный рост скорости окисления графита от тем-

пературы [4]. В связи с этим проводились исследования выгорания графита в потоке азота с разным содержанием кислорода, и установлено, что при снижении концентрации последнего до 0,05—0,1 % скорость окисления графита сильно уменьшается. Это явилось основанием для перевода реакторов на азотную продувку и увеличения температурного предела графита на 100—150 ^{0}С [5].

Одновременно в начале 50-х годов были проведены исследования поведения графита под облучением [6]. Установлено, что при температуре ниже 300 ^{0}С под действием нейтронного облучения графит увеличивает свои размеры (распухает), в 10-40 раз снижается его теплопроводность, накапливается скрытая энергия. Распухая, графитовые блоки смещаются от оси кладки к периферии с различной величиной смещения по высоте, образуя сложный профиль ячейки. Изменение стрелы прогиба в графитовой кладке в зависимости от ее высоты и времени работы реакторов А и АВ-1 представлены на рис. 3 и 4. Оба реактора в течение 4-5 лет работали в низкотемпературном режиме. В реакторе А наибольшее изменение стрелы прогиба ячейки происходило вблизи границы активной зоны реактора, точки А и Б на рис. 3 [7]. В конце 50-х, начале 60-х годов темп распухания графита замедлился из-за увеличения температуры, обусловленного повышением мощности реакторов. Начался процесс радиационно-термической усадки графита, в результате чего произошло выпрямление профиля ячеек (рис. 3, 4).

В связи с увеличением рабочей температуры графита выше 500 ^{0}С вновь возникла проблема предотвращения выгорания графита. Экспериментальное повышение температуры с 500 до 600 ^{0}С в реакторе АИ оказалось неудачным из-за обнаруженного "разгара" многих ячеек в графитовой кладке [8].

Проблема выгорания графита при повышенных температурах была решена благодаря проведению ряда исследований и внедрению комплекса следующих мероприятий, выполненных под руководством Н.С. Бурдакова:

- разработка режимов очистки воздуха от кислорода на азотных станциях и обеспечение его содержания не выше 0,003 объемных % [9];
- ликвидация поступления воздуха в кладку при стационарной работе и во время кратковременных остановок [10];
- внедрение непрерывного автоматического контроля содержания O_2 в азоте на азотной станции и O_2 и CO_2 в графитовой кладке.

Выполненные исследования закономерностей окисления реакторного графита при малых концентрациях кислорода в азоте [11] позволили сделать вывод о том, что предел по температуре графита с точки зрения его выгорания не лимитирует повышение мощности реактора.

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Одним из факторов стабильности и бесперебойной работы ядерного реактора является его надежное водоснабжение.

По проекту ГСПИ-11 и Всесоюзного теплотехнического института им. Дзержинского строительство основных сооружений системы водоснабжения

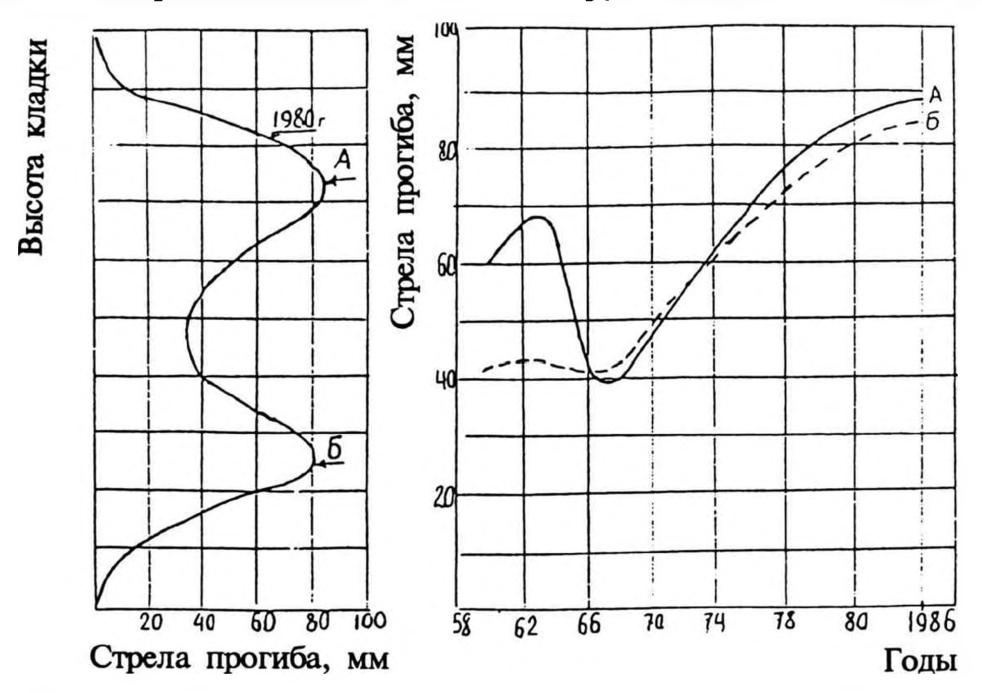


Рис. 3. Изменение стрелы прогиба в графитовой кладке реактора А

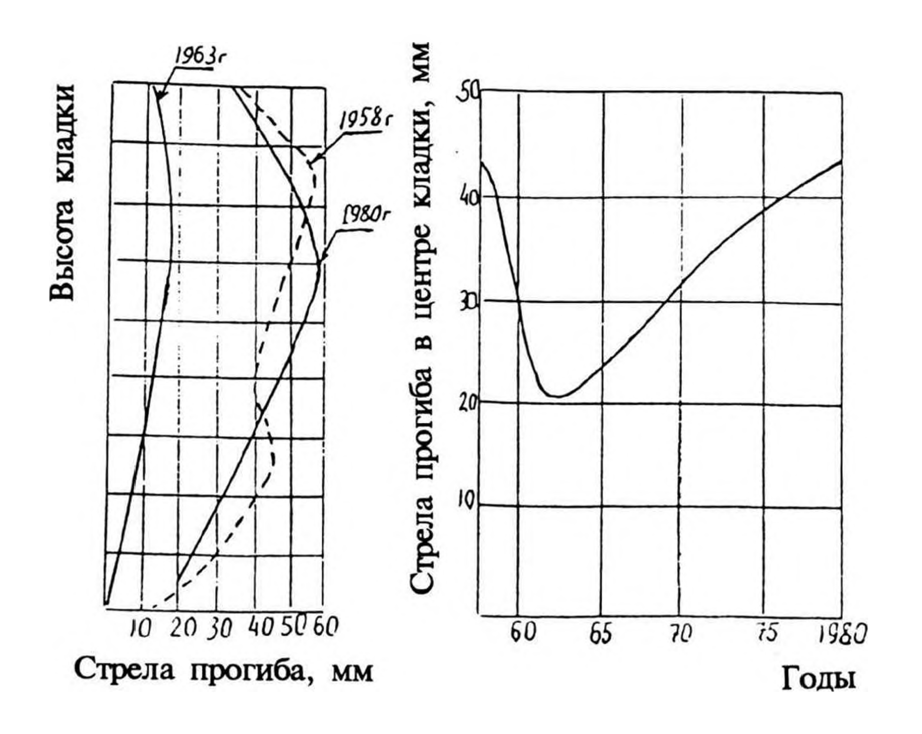


Рис. 4. Изменение стрелы прогиба в графитовой кладке реактора АВ-1

было начато в 1947 г. Уже в следующем году был запущен завод 22, обеспечивающий водоснабжение реакторного и радиохимического производств.

Так как реактор А расположили на возвышенном месте по отношению к озеру Кызыл-Таш, было решено подачу воды осуществлять с помощью трех ступеней насосных станций. Из водозабора вода поступала на осветление, на первичную очистку от механических примесей на кварцевых фильтрах. Около 20 % осветленной воды через насосную 2-го подъема поступало на химическую очистку на ионнообменных фильтрах. Далее смесь осветленной и химически очищенной воды подавалась в баки-наполнители, из которых под напором насосов 3-го подъема поступала в каждый канал реактора через распределительный коллектор. Вода, находящаяся в баках-наполнителях, также использовалась для аварийного расхолаживания реактора при отключении электроэнергии.

Нагретая в реакторе вода самотеком сливалась через лотки подземного водовода в озеро, из которого, охладившись, поступала через очистные сооружения снова в реактор.

Одной из проблем оборотного водоснабжения было ухудшение состояния озера Кызыл-Таш за счет постоянного повышения концентрации в нем радионуклидов и интенсивности роста различных водорослей из-за повышения температуры воды. Наблюдалось обрастание водорослями основных водоводов перед входом в реактор, в результате чего происходило засорение дроссельных органов в технологических каналах, приводящее к большому количеству кратковременных остановок реакторов. Эта проблема была решена установкой дополнительных кварцевых фильтров перед входом в реакторы.

В заключение следует отметить, что благодаря хорошо разработанному проекту водоснабжения, высококачественному монтажу и высокой технологической дисциплине персонала завода 22, каких-либо чрезвычайных ситуаций с охлаждением реакторов за период их работы не было.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТВЭЛОВ)

Надежность твэлов была одной из главных проблем исследователей и эксплуатационного персонала реактора.

В период пуска реактора А И.В. Курчатов неоднократно обращал внимание персонала на необходимость строгого контроля над состоянием расхода теплоносителя в каждом канале, ибо снижение его, тем более полное прекращение, чревато опасными последствиями.

В дальнейшем было установлено, что существуют три причины снижения расхода теплоносителя, связанные с твэлами: разгерметизация твэла с образованием гидрида урана, имеющего существенно больший объем, чем металлический уран; радиационный рост (распухание) уранового сердечника без разгерметизации твэла; растрескивание уранового сердечника под воз-

действием термических напряжений с разрывом алюминиевой оболочки твэла.

Конечным следствием каждой из трех указанных причин было заклинивание твэлов в технологической трубе (зависание).

Последствием зависаний было нарушение нормального технологического процесса — снижение расхода теплоносителя, остановка реактора, поступление радиоактивных продуктов в охлаждающую воду и рабочие помещения.

Борьба за увеличение надежности твэлов велась в нескольких направлениях.

На заводах-изготовителях твэлов проводилась большая работа по улучшению технологии изготовления твэлов путем контроля герметичности, внедрения электронно-лучевой заварки закатанного торца оболочки твэлов, улучшения коррозионной стойкости оболочечного сплава и др. Однако полностью исключить случаи разгерметизации твэлов не удавалось. Очень важным в этих случаях было умение персонала управления реактором своевременно выявлять и разгружать каналы с дефектными твэлами. На комбинате проводилась работа по совершенствованию контроля над температурным режимом облучения твэлов.

Одной из основных причин недостаточной надежности твэлов было радиационное формоизменение (распухание) урановых сердечников. Оно приводило к появлению жеванности поверхности, увеличению диаметра и искривлению твэла и, как следствие, — к значительному количеству зависаний (как правило, без разгерметизации твэла). Ученые и специалисты столкнулись с неизвестным ранее явлением, названным впоследствии "радиационным ростом". Это явление, связанное с анизотропией кристаллической решетки урана, приводит к возникновению разориентированной деформации отдельных зерен в процессе облучения.

На комбинате 817 [13-15] и в НИИ-9 (сейчас ВНИИНМ) были начаты интенсивные научные и прикладные исследования этого явления и его последствий.

В 1951 г. Б.Г. Дубовским были предложены пятиребристые технологические трубы вместо трехребристых, что позволило уменьшить зависания с 15-16 % от общего количества выгруженных каналов до 0,5-0,6 %. Однако это нововведение перестало быть эффективным при увеличении таких параметров облучения твэлов, как мощность и накопление продуктов деления [16].

В 1951-1952 гг. С.Н. Рыбаковым, И.Н. Заславским и др. [17] был разработан и изготовлен дистанционный прибор, с помощью которого измерялись диаметр и высота твэлов в процессе облучения, а Б.Г. Дубовским и В.И. Клименковым [18] разработана аппаратура для контроля прилегания оболочки к сердечнику твэлов.

В 1952-55 гг. под научным руководством А.С. Займовского А.Г. Ланиным было обнаружено и изучено явление ускоренной радиационной ползучести

урана, а также изучено влияние нейтронного облучения на кратковременную прочность урана [19]. В 1958 г. некоторые результаты этих исследований были доложены на 2-ой Женевской Конференции [20].

В 1954-56 гг. под руководством А.А. Бочвара сотрудниками комбината В.И. Широковым, И.Т. Березюком, А.Г. Ланиным и др. совместно с сотрудниками ВНИИНМ Г.Я. Сергеевым, В.В. Титовой, К.А. Борисовым был проведен большой комплекс реакторных испытаний опытных твэлов, позволивший выбрать радикальный способ улучшения их размерной стабильности за счет закалки урановых сердечников с температур области гамма-фазы в воду [21].

С учетом результатов всестороннего исследования промышленного урана и радиационных испытаний опытных партий твэлов, сердечники которых имели различную структуру и физико-механические свойства, в 1958 г. во ВНИИНМ была сформулирована концепция повышения живучести твэлов путем коренного изменения структуры и свойств урановых сердечников. Был разработан низколегированный сплав урана с регламентированным содержанием легирующих элементов (железо, кремний) и металлургических примесей и — технологические процессы изготовления сердечников с требуемой мелкозернистой квазиизотропной структурой и повышенной прочностью.

Большое значение имели разработка методов и создание аппаратуры неразрушающего сплошного приборного контроля химического состава и структуры сердечников и качества герметизации твэлов.

Промышленное внедрение результатов исследований и технологических разработок обеспечило изготовление твэлов высокой живучести и их устойчивую работу в реакторах при установленных высоких параметрах облучения.

Интересно отметить, что в эти годы ученые США, Англии, Франции при создании твэлов для уран-графитовых реакторов также пошли по пути легирования и термической обработки урана.

ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ ОТ КОРРОЗИИ

Хотя проектом ресурс реактора А был определен в 3 года, коррозионные процессы исследовались с самого начала его работы.

Исследовали в основном два класса конструкционных материалов: алюминиевые сплавы технологических каналов, через которые прокачивалась химически очищенная вода, и стальные конструкции нижней части реактора, омываемые осветленной водой.

В первые же месяцы работы реактора А было обнаружено коррозионное разрушение технологических каналов из сплава САВ-1. Это было обусловлено тем, что при ликвидации последствий зависания твэлов в графитовую кладку попадала вода, провоцирующая коррозию и массовую течь труб с усиливающимся увлажнением кладки.

В конце января 1949 г. реактор А был остановлен для замены канальных труб на новые с анодно-оксидным защитным покрытием [22].

Для решения проблемы надежной защиты алюминиевых сплавов от разрушения необходимо было выявить вклад в этот процесс коррозионных и кавитационных факторов. Было установлено, что с повышением температуры воды до 40-45 ^{0}С потеря веса образцов из сплава САВ-1 увеличивается, при дальнейшем росте температуры — снижается. В выбранном рабочем интервале температуры 70-95 ^{0}С вклад кавитационных процессов незначителен [23].

Авторы работы [24] установили, что скорость коррозии сплава САВ-1 зависит от pH воды, повышение pH до 8,3-8,6 недопустимо.

Подробно закономерности изменения скорости коррозии сплава САВ-1 от различных факторов исследовала группа авторов в составе Р.Д. Анашкина, А.И. Малова, Н.И. Котова и др. [25]. Было установлено, что скорость коррозии сплава мало зависит от температуры воды в интервале 70-95 ^{0}С, но существенно зависит от pH воды. Оптимальное значение pH находится в пределе 6-6,2. Установлено, что введение в состав химически очищенной воды в качестве ингибитора бихромата натрия уменьшает скорость коррозии сплава САВ-1.

Рекомендации по проведенным исследованиям [25], внедренные в практику всех реакторов ПО "Маяк", начиная с конца 50-х годов, обеспечили надежную защиту от коррозии каналов из сплава САВ-1 с защитным анодно-оксидным покрытием.

Исследование коррозии металлоконструкций реакторов производилось методом периодических наблюдений за их состоянием. Многолетние наблюдения показали, что все опорные конструкции находились в удовлетворительном состоянии. Некоторые трудности возникли со стальными баками водяной защиты, потерявшими герметичность. Часть баков имели протечки, которые вначале компенсировали подпиткой воды, а затем их стали эксплуатировать в опорожненном состоянии. Скорость коррозии герметичных баков, заполненных водой с добавлением в качестве ингибитора силиката натрия (жидкого стекла), была незначительной.

ТЯЖЕЛОВОДНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕАКТОРЫ

ПО "Маяк" — единственное в нашей стране предприятие, где сооружались и эксплуатировались тяжеловодные промышленные реакторы.

История создания тяжеловодных реакторов и производства тяжелой воды в нашей стране достаточно подробно изложены в книге А.К. Круглова [2]. Здесь мы дадим некоторые неопубликованные до сих пор выводы и уроки развития тяжеловодного направления. Эти выводы отражают точку зрения только специалистов "Маяка". Точка зрения других специалистов нам неизвестна, поскольку, к сожалению, широкое и всестороннее обсуждение фундаментальных проблем реакторостроения не проводится.

Наш основной вывод заключается в том, что советские тяжеловодные реакторы оказались вполне работоспособными, удобными в эксплуатации, широкоманевренными в смысле обилия режимов и загрузок, с предельно высокими физическими характеристиками.

Если сравнивать тяжеловодные и графитовые реакторы, то самым главным положительным отличием первых от вторых является отсутствие серьезных проблем, возникающих при эксплуатации графитовой кладки.

Возникает вопрос: почему промышленные реакторы развивались, в основном, по линии графитового направления? Сейчас мы можем назвать три основные причины. Первая — это отсутствие масштабного производства тяжелой воды и ее высокая стоимость; вторая — отсутствие сравнительного опыта эксплуатации графитовых и тяжеловодных реакторов; третья — возникшая течь из корпусов двух реакторов ОК-190 и ОК-190 М. Последняя причина сильно повлияла на авторитет и престиж тяжеловодного направления.

Нельзя сбрасывать со счетов и субъективные факторы, ибо за каждым типом реактора стояли разные люди. Сейчас известно, что И.В. Курчатов, официально поддерживая все направления реакторостроения, на самом деле не видел существенной перспективы тяжеловодных реакторов.

Следует также признать, что при удачно выбранной общей концепции тяжеловодных реакторов воплощение идей было сделано с немалым количеством ошибок. Это объясняется отсутствием опыта проектирования таких систем и какой-либо информации у работников о физико-химических свойствах тяжелой воды D_2O. Например, сейчас каждый инженер, имеющий дело с тяжеловодным контуром, знает, что в теплообменнике D_2O-H_2O опасно понижать температуру воды ниже +3,8 ^{0}С, т.к. можно заморозить D_2O. Но в октябре 1951 г. при пуске реактора ОК-180 это никому не пришло в голову, и теплообменники были заморожены по первому контуру[1]. К счастью, ничего опасного не произошло. Более того, вынужденно был проведен рискованный эксперимент. Поскольку принудительная циркуляция D_2O прекратилась, охлаждение твэлов в технологических трубах перешло на естественную циркуляцию с кипением теплоносителя. По-видимому, это был первый эксперимент по обоснованию аварийного расхолаживания реактора при полном прекращении циркуляции теплоносителя. Так приобретался опыт.

Самой серьезной ошибкой, по нашему мнению, в проектах тяжеловодных реакторов следует считать неудачную развязку холодной напорной и горячей сливной частей корпусов реакторов ОК-190 и ОК-190 М. Неудачная конструкция обуславливала большие температурные напряжения в нижней части корпусов реакторов, приведшие к образованию трещины, через которую

---

[1] Эта оплошность сотрудников и руководителей удивительна, т.к. оригинальные работы по свойствам тяжелой воды с указанием температуры плавления (3,82 ^{0}С) появились в 30-х годах, см., например, книгу А.И. Бродского "Химия изотопов", Издательство АН СССР, 1952 г. (примечание редактора).

из первого контура вытекала дорогостоящая тяжелая вода. Трещина и течь постоянно увеличивались. Поскольку эти процессы вызывали опасения своей непредсказуемостью, оба вполне работоспособные по другим параметрам реакторы были досрочно остановлены.

Хотя, как показано выше, имеются серьезные причины, приведшие к негативному, скептическому отношению к тяжеловодным реакторам, по нашему мнению, они являются более перспективными, чем графитовые из-за проблем радиационного повреждения графита и его пожароопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт эксплуатации промышленных реакторов, накопленный в 40-50-х годах на комбинате "Маяк" и проведенные научно-исследовательские работы заложили основы реакторной технологии.

В результате совершенствования этой технологии в последующий период удалось увеличить мощность реакторов в 4-5 раз и обеспечить их надежную эксплуатацию в течение 35-40 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Доллежаль Н.А.** У истоков рукотворного мира. М.: Знание, 1989.

2. **Круглов А.К.** Как создавалась атомная промышленность СССР. М.: ЦНИИатоминформ, 1995.

3. Воспоминания об Игоре Васильевиче Курчатове. М: Наука, 1988.

4. **Шубин Ю.М.** Отчет о температурной зависимости выгорания графита в воздухе. Фонд 11, опись 9, единица хранения 9, 1950.

5. **Воробьев Е.Д., Клименков В.И., Терновский И.А., Рябов В.И., Рязанцева И.М.** Изучение выгорания графита в токе азота и воздуха. Инв. ЦЗЛ 764, 1953.

6. **Клименков В.И., Алексенко Ю.Н.** Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. М.: Издательство АН СССР, 1955, стр.322.

7. **Шурупов Ю.К.** Деформация графитовых кладок реакторов. П/я А-7564. Отчет, фонд 11, опись 30, ед. хр. 615, 1966.

8. **Клименков В.И., Шурупов Ю.К.** Разгар ячеек в реакторе АИ после работы при повышенной температуре. Отчет, фонд 11, опись 30, ед. хр. 1959.

9. **Бурдаков Н.С., Мельников И.И.** Отчет по измерению кондиции азота на азотной станции. Фонд 11, опись 14, ед. хр. 42, 1960.

10. **Бурдаков Н.С.** Контроль подсосов воздуха в аппаратах АВ. Отчет, фонд 11, опись 12, ед. хр. 232, 1959.

11. **Бурдаков Н.С., Турдаков В.Н.** Некоторые закономерности окисления реакторного графита. Атомная энергия, 1972, т.32, с.324.

12. **Семенов Н.А., Рябов В.И., Померанцев Г.Б.** Сводный отчет по результатам изучения живучести нормальных блоков, 1953. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 7, ед. хр. 59.

13. **Дубовский Б.Г., Рябов В.И. и др.** Зависания блоков новой технологии в аппарате А. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 24, ед. хр. 16, 1951

14. **Кругликов Г.В., Дубовский Б.Г. и др.** Сводный отчет по поведению катаных блоков в аппарате А. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 20, ед. хр. 116, 1951

15. **Амбарцумян Р.С., Меркин В.И. и др.** Краткий отчет по исследованию разбухших блоков в аппарате А. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 14, ед. хр. 49, 1950

16. **Архипов Н.Н., Дубовский Б.Г., Померанцев Г.Б.** Анализ зависаний рабочих блоков в пятиребристых технологических трубах. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 24, ед. хр. 17, 1951

17. **Работников С.Н., Заславский И.Н. и др.** Дистанционный прибор для измерения диаметров и высоты активных блоков. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 4, ед. хр. 11, 1952

18. **Клименков В.И., Меркин В.И. и др.** Испытания качества диффузионного сцепления оболочки с сердечником у блоков, изготовленных по различным технологиям. Архив ПО "Маяк", фонд 9, опись 4, ед. хр. 5, 1951

19. **Займовский А.С., Ланин А.Г. и др.** Явления роста, ползучесть и значения кратковременных прочностных характеристик урана во время его облучения в реакторе. ПО "Маяк", инв. 3789, 1957

20. **Займовский А.С., Сергеев Г.Я. и др.** Влияние структуры и свойств урана на его поведение под облучением. Ядерное горючее и реакторные материалы. Сборник докладов. Москва, 1959.

21. **Бочвар А.А., Ланин А.Г. и др.** Влияние технологии изготовления блоков из естественного урана на их живучесть в котле. ПО "Маяк", инв. 1901, 1955

22. **Аникина Н.А., Михеева Л.Е.** История реактора А. Фонд 1, опись 3, ед. хр. 309, 1958

23. **Рябов В.И., Косенков В.Т.** Исследование поведения технологических труб в реакторах. Отчет, фонд 11, опись 121, ед. хр. 47, 1957.

24. **Балашов В.И.** Коррозионная стойкость сплава САВ в контакте с нержавеющей сталью. Отчет, фонд 11, опись 12, ед. хр. 98, 1957.

25. **Анашкин Р.Д., Малов А.И., Котов Н.И. и др.** Влияние температуры, скорости потока и pH воды на разрушение сплава САВ. Фонд 11, опись 17, ед. хр. 234, 1958.

ПЕРВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ В ВЫСОКОАКТИВНЫХ СБРОСАХ ЗАВОДА "Б" ПО "МАЯК"

В.А. Халкин

Мое сообщение относится к 1953 году, когда еще ценность оружейного плутония была очень велика, "не то, что в нынешнее время"... Поэтому на первом в СССР радиохимическом заводе — заводе "Б" проводился в обязательном порядке постоянный контроль содержания плутония не только в целевых продуктах, но и во всех производственных отходах — "хвостах". Во всех — кроме продукта 904.

В то время на заводе "Б" действовала РИАН'овская технологическая ацетатно-фторидная схема выделения, очистки и концентрирования плутония, основанная на окислительно-восстановительных циклах соосаждения плутония. По этой схеме, после растворения облученных в реакторе урановых блочков, первая технологическая операция заключалась в соосаждении шестивалентного плутония с малорастворимой комплексной солью — натрий-уранил-ацетатом: $Na[UO_2(acet)_3]$. Отходы от этой операции — раствор над осадком и промывные растворы сливались в так называемые банки-хранилища высокоактивных производственных "хвостов", а иногда, насколько мне известно, в Карачай-озеро. Так вот эти первые технологические "хвосты" — ацетатные декантаты и назывались печально известным продуктом 904. О его солевом и радиохимическом составе можно получить представление на основании величин, приведенных в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Максимальный солевой состав (в г/л) продукта 904

Fe III	Cr III	VI	Mn II	Pb II	Ca II	U VI	NaNO	CH_3COONa	CH_3COOH
1,5	10	1	1,5	8	2	200	100	60	1

Таблица 2

Радиохимический состав продукта 904

Элемент	ΣРЗЭ*	Sr	Zr	Nb	Ru
γ (г-экв. Ra/л)	3	-	25	39	3
β (Кюри/л)	110	43	18	25	4

* ΣРЗЭ 60 мг/л Pu ≈ 0,3 мг/л (согласно техусловиям); 1 мкг оружейного Pu претерпевает $1{,}43 \cdot 10^5$ α-распадов/мин.

Из приведенных в таблицах данных следует, что большое содержание солей и высокая активность — главные факторы, затрудняющие разработку стандартного заводского метода анализа на плутоний ацетатных декантатов. Кроме того, продукт 904 всегда содержал труднорастворимый осадок основных ацетатов железа и хрома, который частично сорбировал плутоний. По мнению начальника лаборатории №3 ЦНИЛ комбината Ольги Степановны Рыбаковой его образование связано с повышением pH раствора за счет радиолитического восстановления иона нитрата до нитрита и разрушения ацетат-иона.

Когда мои научные руководители Александр Павлович Виноградов и Петр Николаевич Палей поставили передо мной задачу по разработке метода анализа первых технологических "хвостов" на плутоний, который должен, с одной стороны, обеспечивать безопасную работу с высокоактивными открытыми препаратами за счет простоты оформления и выполнения, а с другой — давать точные, хорошо воспроизводимые результаты, я быстро понял, что основанное на известных свойствах плутония решение будет мало эффективным, трудоемким, многооперационным, и, следовательно, длительным и радиационно-опасным для исполнителя. Ясно было и то, что плутоний должен выделяться в форме максимально удобной для сцинтилляционной α-радиометрии.

Ионный обмен для этой цели отпадал сразу, вследствие высокой концентрации солей в растворе. Кроме того, в литературе в начале пятидесятых годов почти отсутствовали сведения по хроматографии плутония.

Нельзя было применить для продукта 904 и методы соосаждения. Например, хорошо отработанный на заводе "Б" лантан-сульфатный метод извлечения плутония из среднеактивных, низкосолевых ацетатных растворов, предложенный Борисом Васильевичем Курчатовым, включал в себя только центрифугирований больше десяти.

Экстракционные методы казались более удобными при проведении анализов высокоактивных растворов на микроколичества плутония. Как хорошо известно, плутоний-VI можно извлечь из 1-2 М растворов HNO_3, насыщенных нитратами. Но применить экстракцию к продукту 904 было нельзя потому, что по наблюдениям Виктора Михайловича Вдовенко растворы

с высоким содержанием уксусной и следами кремниевой кислот образуют с экстрагентами устойчивые эмульсии.

До января 1953 года считалось бесспорным, что четырехвалентный плутоний, как и торий, плохо экстрагируется из растворов азотной кислоты. Ошибочность этого мнения мне удалось доказать, исходя из предположения, что экстракционные свойства четырехвалентных церия и плутония могут оказаться подобными. Четырехвалентный церий извлекается органическими растворителями с активным кислородом из 5-6 М растворов азотной кислоты. Экстрагируемой формой является гексанитроцериевая кислота $H_2[Ce(NO_3)_6]$, которая образует ионный ассоциат, состоящий из комплексного гидрофобного аниона и оксониевых катионов растворителя. Коэффициент распределения Ce IV в системе 5 М HNO_3 — диэтиловый эфир достигал тридцати.

Хорошо известно, что плутоний-IV образует в 6-8 М HNO_3 гексанитроплутониевую кислоту $H_2[Pu(HNO_3)_6]$. Поэтому было логично допустить, что плутоний-IV будет экстрагироваться по тому же самому механизму, что и церий-IV с образованием соли оксониевого типа: $(R'R''OH)_2^+ [Pu(NO_3)_6]^{2-}$.

Первые же опыты показали, что предположение было сделано правильно. Из всех доступных мне экстрагентов наилучший результат был получен с диэтиловым эфиром. Он экстрагировал из 6-8 М HNO_3 четырехвалентный плутоний в широком диапазоне его концентраций от 0,2 μг/мл до 5 μг/мл с коэффициентом распределения 0,6±0,1.

Из растворов, имитирующих солевой состав продукта 904 и содержащих ~0,2 μг/мл Pu-IV, экстрагируемость была выше, чем из бессолевых растворов азотной кислоты: коэффициенты распределения были около 15. И что особенно важно, при концентрации азотной кислоты в водном слое 5-6 моль/л не было образования эмульсий даже при диспергировании фаз высокоскоростной мешалкой.

Таким образом, было найдено и экспериментально проверено решение поставленной задачи на основе ранее неизвестного свойства плутония.

Разработка деталей методики, как то: последовательность операций, используемых реактивов, малогабаритного механического экстрактора и блока защиты — для него было, как говорится, делом техники. Как и ожидалось, из раствора продукта 904 при оптимальных концентрациях азотной кислоты не экстрагировалось большинство содержащихся в нем солей и радионуклидов, за исключением циркония (~5%) и рутения (~15%). Однократная промывка эфирных экстрактов 5 М HNO_3 во втором механическом экстракторе, работающем on-line с первым, позволяла понизить β-активность до уровня, не мешающего сцинтилляционной α-радиометрии плутония. Потерь плутония в процессе экстракции не происходило: всегда извлекалось в эфирный слой 98±2% от введенного в модельные растворы плутония.

Осадки основных ацетатов железа и хрома, всегда присутствовавшие в продукте 904, легко растворялись при добавлении концентрированной азотной кислоты к образцам ацетатного декантата.

Разработанный метод был успешно применен к анализу продукта 904. И тут выяснился весьма неприятный и неожиданный, с технологической точки зрения, факт: во всех переданных мне на анализ образцах продукта 904 было во много раз больше плутония, чем предусматривалось техусловиями. В среднем в 1 мл продукта 904 содержалось около 2 μг плутония или 2 г/м^3. Если допустить, а на это есть основания, что при обработке азотнокислого раствора, содержащего полторы тонны урана и сто грамм плутония, "хвосты" после осаждения уранил-ацетата натрия были объемом не менее 10-12 м^3, то только после первой технологической операции безвозвратно терялось 20-25 грамм, поистине бесценного в то время, ядерного взрывчатого вещества.

Хотя эти данные были получены аспирантом "самого" А.П. Виноградова, они вызвали нескрываемое раздражение у Бориса Петровича Никольского, в ту пору научного руководителя радиохимического завода. О чем он не преминул высказаться на высоком совещании, на котором я докладывал свои результаты. Он негативно высказался о разработке и ее авторе. Но это даже не огорчило меня, так как древняя поговорка гласит: "Юпитер, ты гневаешься — значит, ты не прав".

Этими воспоминаниями о своей научной юности, прошедшей в очень интересное время, я хотел бы отдать скромную дань светлой памяти Петра Николаевича Палея, Александра Павловича Виноградова и Ивана Павловича Алимарина, которые в те далекие годы внимательно следили за моими первыми шагами в мире науки.

ВКЛАД ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В США И СССР В РАЗВИТИЕ ХИМИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПЛУТОНИЯ И НЕПТУНИЯ В 40-Х И 50-Х ГОДАХ

В.Ф. Перетрухин

ВВЕДЕНИЕ

Вскоре после открытия нептуния и плутония (1940 г., США) различные физические и химические методы были привлечены для изучения химии этих элементов и разработки технологии промышленного получения плутония. Роль отдельных методов в технологии выделения плутония из облученного ядерного топлива существенно изменялась в период 40-х — 50-х годов. Так, соосаждение плутония с труднорастворимыми солями лантана, висмута, урана и т. п. было основным методом исследования фундаментальных химических свойств Np и Pu в начальный период и первым промышленным методом выделения плутония из ядерного топлива. Позднее ионообменные и экстракционные методы (Пурекс) заменили соосаждение в технологии получения плутония в промышленности США, а затем и в других ядерных странах. Электрохимические методы в растворах и в расплавах солей трансурановых элементов не были основными в химико-металлургической части технологии получения плутония и нептуния. Они внесли весомый вклад в исследования фундаментальных химических свойств нептуния и плутония в 40-х и 50-х годах. Роль электрохимических методов в технологии получения плутония и нептуния возрастает во времени по мере усовершенствования этой технологии. Электрохимический метод был одним из методов аналитического контроля первой "соосадительной" технологии выделения плутония. В современной экстракционной технологии "Пурекс" используется электрохимическое восстановление плутония до трехвалентного состояния для его реэкстракции, электрохимическая резка твэлов, электрохимическое осаждение слоев плутония-238 для радионуклидных

генераторов тока, электрохимическая очистка выдержанного плутония от дочернего америция в расплавах солей.

В будущем электрохимический метод, по-видимому, станет основным в безводной пирометаллургической технологии переработки облученного топлива в расплавах хлоридных солей. В настоящей работе рассмотрены первые этапы развития электрохимических исследований нептуния и плутония, проведенных в 40-х и 50-х годах, главным образом, в США и России.

ВКЛАД ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ХИМИИ НЕПТУНИЯ И ПЛУТОНИЯ В 40-Х ГОДАХ

Идентификация окислительного состояния нептуния (V) и плутония (V).

Электрохимические методы внесли решающий вклад в решение некоторых важных проблем фундаментальной химии нептуния и плутония на первых этапах ее развития в 40-х годах в США. Так, электрохимическими методами впервые было доказано существование нептуния и плутония в окислительном состоянии (V) в водных растворах и установлена их форма существования в виде иона AnO_2^+ . (Символ An здесь и далее обозначает актинид). Для начала сороковых годов это была непростая задача, так как плутоний (V) неустойчив в водных растворах, а ионы типа AnO_2^+ нехарактерны и были почти неизвестны для стабильных пятивалентных элементов Периодической системы. Существование плутония в пятивалентном состоянии было впервые доказано Р.Е. Коником и др. в 1944 г. в Калифорнийском университете в Беркли [1]. Эти исследователи провели кулонометрическое восстановление плутония (VI) в растворе 0,05 М HCl и, используя спектрофотометрический контроль, показали образование достаточно устойчивого в данных условиях плутония (V). Формы существования плутония (V) и более устойчивого нептуния (V) были неизвестны, и гипотетически предполагалась одна из следующих форм: An^{5+}, AnO^{3+} и AnO^{2+}. Для шестивалентных плутония и нептуния существование их в виде иона AnO_2^{2+} в кислых растворах было уже установлено по их изоструктурности с натрийуранилтриацетатом, но данных о формах существования урана (V) в то время еще не было из-за неустойчивости последнего. Идентификация формы существования в кислых растворах впервые была проведена К.А. Краусом и Г.Е. Муром в 1944 г. в Ок-Ридже для плутония (V) [2] и Л.В. Магнуссоном и др. в Аргонне для нептуния (V) в 1945 г. [3]. Обе группы исследователей применили одинаковую электрохимическую методику. Они измерили окислительный потенциал пар Pu(VI)-Pu(V) и Np(VI)-Np(V) в растворах с различной концентрацией ионов водорода. Исследователи предполагали, что реакция восстановления шестивалентных плутония и нептуния может выражаться одним из трех гипотетических уравнений с резко различной стехиометрией участия ионов водорода в зависимости от формы существования ионов An(V):

$$PuO_2^{2+} + e^- + 4H^+ \rightarrow Pu^{5+} + H_2O \qquad (1)$$

$$PuO_2^{2+} + e^- + 2H^+ \rightarrow PuO^{3+} + H_2O \qquad (2)$$

$$PuO_2^{2+} + e^- \rightarrow PuO_2^+ \qquad (3)$$

Потенциометрические исследования как пары Pu(VI)-Pu(V), так и Np(VI)-Np(V), показали, что окислительный потенциал данных пар не зависит от концентрации хлорной кислоты в растворах. Это указывает на протекание последней из трех гипотетических реакций и на то, что ионы пятивалентных нептуния и плутония имеют состав AnO_2^+.

Другой важный вывод о существовании плутония (VI) в виде анионных комплексов $[Pu(NO_3)_n]^{-(n-4)}$, где n=5,6 в крепкой азотной кислоте был сделан К.К. Мак-Лэйном в Ок-Ридже в 1944 г. на основании исследований по электромиграции [4].

Определение окислительных потенциалов и термодинамической устойчивости ионов плутония и нептуния

В рамках Манхэттенского проекта были впервые измерены окислительные потенциалы плутония и нептуния в растворах. Эти исследования проводились в 1943-46 гг. К.А. Краусом и др. в Ок-Ридже [5, 6], Р. Коником и др. в Беркли [1], Л.Б. Магнуссоном, Дж. Хайндменом и др., Е.П. Орлеманом и Б.Б. Броди в Металлургической лаборатории Чикагского университета [7,8]. Окислительные потенциалы были измерены в растворах с широким диапазоном pH потенциометрическим и реже вольтамперометрическим методом (рис. 1). Было обнаружено, что формальные потенциалы различных ионных пар плутония в растворах одинакового состава довольно близки друг другу, что объяснило непонятные ранее самопроизвольные переходы плутония из одного окислительного состояния в другое и одновременное сосуществование плутония (III), (IV) и (VI) в одном растворе в отсутствие окислителей или восстановителей. Было обнаружено также, что окислительный потенциал пары Pu(V)-Pu(IV) выше потенциала пары Pu(VI)-Pu(V), что указывает на термодинамическую неустойчивость плутония (V) и его диспропорционирование в кислых средах, подобно урану (V) [5]. Было показано, что формальный потенциал пары Np(IV)-Np(III) имеет отрицательное значение (-0,19 В/н. в. э.) в кислых растворах и сдвигается в отрицательную область при повышении pH раствора и введении комплексообразователей, что указывает на возможность окисления нептуния (III) водой [9]. Полученные значения формальных потенциалов плутония и нептуния (рис. 1) создали теоретическую основу для целенаправленного выбора химических реагентов-окислителей и восстановителей, эффективных для перевода и стабилизации плутония и нептуния в состояния окисления, необходимые для проведения технологических процессов выделения и очистки плутония из облученного топлива.

Результаты исследований Манхэттэнского проекта по окислительным потенциалам и формам существования нептуния и плутония в растворах

стали известны советским радиохимикам в 1948-49 гг. по публикациям в американских журналах и, главным образом, по многотомной Национальной серии отчетов по атомной энергии. В частности, том 14В описывает основные результаты Манхэттэнского проекта по фундаментальной химии трансурановых элементов [1-9]. Указанные публикации американских ученых позволили советским радиохимикам приступить сразу к использованию электрохимических методов для прикладных целей, а именно, для разработки аналитического контроля над концентрацией плутония и нептуния в технологических растворах, что освещено в следующем разделе настоящей работы. Заканчивая данный раздел, необходимо отметить, что отдельные работы по исследованию фундаментальных свойств плутония и нептуния электрохимическими методами были выполнены в 50-х годах в СССР. Так, в Челябинске-40 (Д.И. Курбатов 1950 г.), а также в ГЕОХИ АН и в Челябинске-40 (А.П. Виноградов и Ю.И. Грызин 1951-55 гг.) были получены данные о потенциалах и электрохимическом поведении плутония в растворах различных комплексообразователей [10]. В Институте физической химии (ИФХ АН) и в Институте электрохимии Академии наук СССР (П.И. Артюхин, В.И. Медведовский и А.Д. Гельман 1958 г.) были получены более полные данные об окислительных потенциалах плутония и его электрохимических реакциях окисления-восстановления в соляной, сернокислой и азотнокислой среде [11]. Позднее, в конце 60-х годов, в ИФХ АН [12] и НИИАР (Дмитровград) [13] впервые были определены окислительные потенциалы семивалентных нептуния и плутония, открытых в 1967 г. Н.Н. Кротом и А.Д. Гельман [14].

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛУТОНИЯ И НЕПТУНИЯ В 40-Х И 50-Х ГОДАХ

Самыми первыми исследованиями по электрохимии нептуния и плутония являются работы по электроосаждению этих элементов из водных растворов на металлические катоды в виде слоя гидроксидов. В начале 40-х годов эти работы были развиты Г. Сиборгом и др. в Беркли [15,16], А. Джеффей и др. в Чикагской Металлургической лаборатории [17,18], а затем и в других лабораториях и ядерных центрах США, где исследовали трансурановые элементы. Принцип метода электроосаждения актинидных или других радиоактивных элементов, способных гидролизоваться, состоит в создании на катоде потенциала, достаточного для выделения водорода и подщелачивания прикатодного слоя раствора. В этих условиях ионы нептуния или плутония восстанавливаются до низших состояний An(IV) или An(III), гидролизуются в прикатодном слое и в виде гидроксидов осаждаются на катоде. Основным достоинством метода электроосаждения является то, что при правильном выборе режима электролиза получаемые покрытия строго равномерны. Электроосаждение с последующим прокаливанием дает непревзойденные по качеству тонкие слои гидроксидов трансурановых элементов, отвечающие

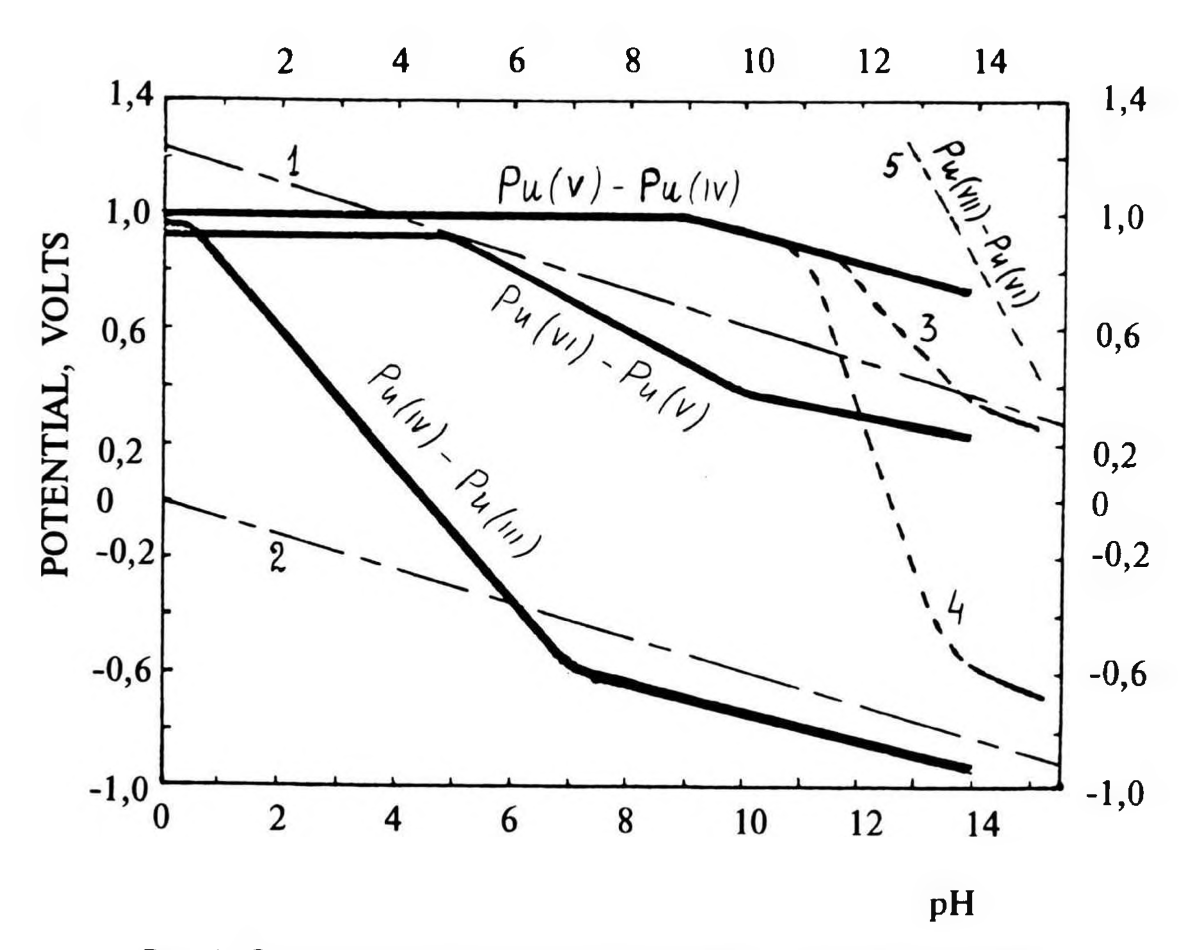


Рис. 1. Окислительные потенциалы плутония в водных растворах.
— - Данные, полученные в 1944-49 гг. в ходе выполнения Манхэттенского проекта (K.Kraus, ORNL, [ ]) 3 — Данные французских исследователей (J. Bourges, FAR, J. Radional. Lett., 1972, Vol.2-3, pp.111-115). 4, 5 — Данные советских исследователей (В.Ф. Перетрухин, Ф.П. Алексеева, Радиохимия, 1974, том 16, №6, стр. 836-849)

всем требованиям альфа-спектрометрии и количественного определения альфа-излучателей. Неудивительно, что в СССР, как и в США, электроосаждение трансурановых элементов в сочетании с радиометрией и альфа-спектроскопией интенсивно исследовалось в 1940-х и 50-х годах как метод качественного и количественного анализа.

В Радиевом Институте в Ленинграде, в НИИ-9, в ЛИПАНе, в ГЕОХИ в Москве, в Челябинске-40 и в Арзамасе-16 были разработаны десятки составов электролитов (водных, водно-органических и органических растворов кислот и комплексообразующих солей) и режимов электролиза для количественного электроосаждения плутония и других актинидов. К сожалению, большинство этих работ, как и многие другие советские отчеты по химии плутония, не были рассекречены и опубликованы даже в последующие годы. Часть этих работ с указанием авторов и без ссылок на секретные отчеты цитирована в книге "Аналитическая химия плутония" (1965 г.) под

редакцией академика А.П. Виноградова, руководившего созданием и развитием аналитического контроля производства урана и плутония в СССР в 40-х и 50-х годах [10].

А.П. Виноградов в 30-е годы проходил стажировку в Праге в лаборатории Я. Гейровского — изобретателя метода полярографии, будущего лауреата Нобелевской премии. Под руководством А.П. Виноградова в ГЕОХИ и в Челябинске-40 в 1948-51 гг. был разработан ряд методов вольтамперометрического определения и кулонометрического титрования плутония в азотнокислой, сернокислой, ацетатной и других средах [10]. Позднее в этих организациях был также разработан и широко использовался кулонометрический метод определения плутония, превосходящие другие аналитические методы своей точностью [10]. Полярография плутония на твердых электродах впервые описана английскими исследователями Б.Г. Харвеем и др. в 1947 году [19]. В СССР П.Н. Палей и Я.П. Гохштейн (ГЕОХИ 1951 г.), В.В. Фомин, С.П. Воробьев и др. (НИИ-9 1951 г.), Ю.И. Грызин (Челябинск-40 1951-54 гг.) разработали полярографическое определение плутония на платиновом электроде в азотнокислых и сернокислых растворах.

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ПЛУТОНИЯ И НЕПТУНИЯ В ОПРЕДЕЛЕННЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ В РАСТВОРАХ

Электролитическое окисление или восстановление плутония и нептуния в кислых растворах с целью переведения этих элементов в любое окислительное состояние, требуемое технологическим процессом, было изучено впервые в 40-х годах в США. Р.Е. Коник с сотр. [1], Дж. Хайндмен с сотр. [9], К. Краус с сотр. [6] и Д. Коэн [20] показали, что процессы окисления ионов плутония и нептуния An^{3+} до An^{4+} и AnO_2^{+} до AnO_2^{2+}, а также обратные процессы восстановления в кислых растворах протекают легко, без перенапряжения как типичные обратимые одноэлектронные электрохимические реакции без изменения состава и старения реагирующего иона. Совершенно по-иному протекают процессы электрохимического восстановления ионов плутония и нептуния AnO_2^{+} до An^{4+} и обратные процессы окисления. Эти электрохимические реакции сопровождаются изменением состава реагирующих ионов и требуют для своего протекания с приемлемой скоростью большого перенапряжения на электроде, достигающего в кислых растворах 0,5 ÷ 0,8 В. Из-за указанного большого перенапряжения прямое получение четырехвалентного нептуния и плутония из их пятивалентной формы неосуществимо, так как электрохимическое восстановление протекает до трехвалентного состояния, а при анодном окислении An^{4+} получается An(VI).

В работах исследователей разных лабораторий США (Ок-Ридж, Аргонна и др.) было показано, что для электролитического получения Np^{4+} и Pu^{4+}

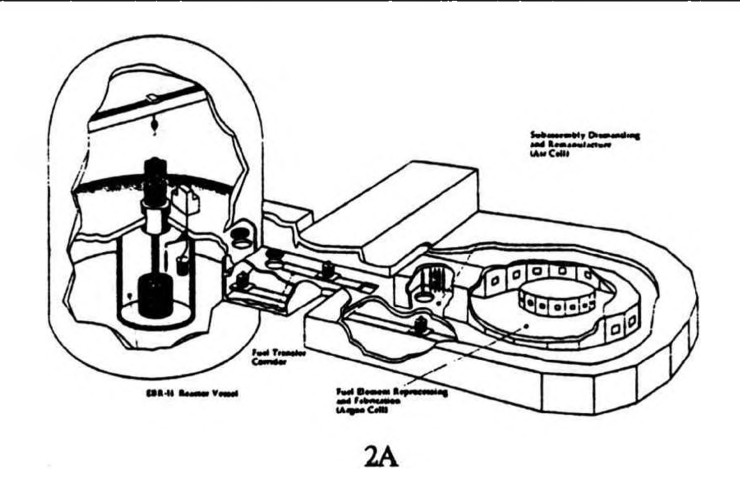
из пяти- или шестивалентных, нужно сначала восстановить их до An^{3+}, а затем окислить до требуемого четырехвалентного состояния [21]. Подобные выводы были сделаны А.П. Виноградовым и Ю.И. Грызиным в Челябинске-40 в 1951-54 гг. для электрохимических реакций плутония в растворах комплексообразователей и О.Л. Кабановой в ГЕОХИ для перхлоратных растворов плутония [10]. Эффективные условия электролитических окисления-восстановления плутония и аппаратуру разработали в Англии Хили и Гарднер (1958) [22], Скотт и Пикема [23], а позже Д. Небель и сотр. в ГДР (1961) [24].

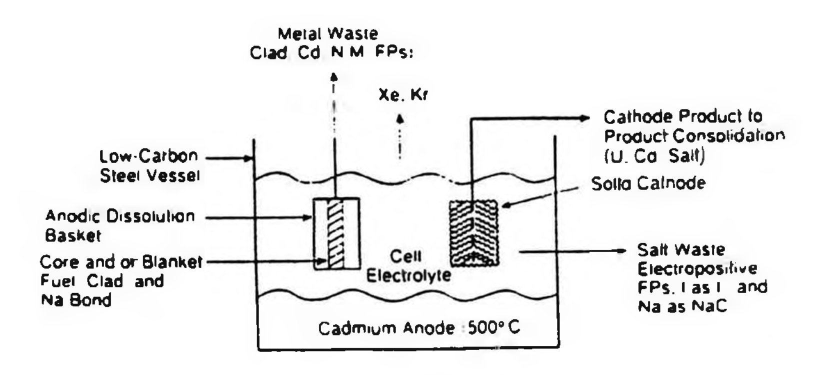
Разработанные в 40-х — 50-х годах электрохимические методы окисления-восстановления плутония были использованы в промышленном Пурекс-процессе начиная с 60-х годов для создания экстракционной колонны с электрохимическом переводом плутония и нептуния в экстрагируемые формы (An^{4+}, AnO_2^{2+}) или неэкстрагируемые (Pu^{3+}, NpO_2^{+}) [25]. Использование электролиза вместо химических реагентов-окислителей и восстановителей в технологии переработки облученного топлива привело к значительному сокращению массы нерадиоактивных компонентов в отходах, направляемых на остеклование.

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ УРАНА, ПЛУТОНИЯ И НЕПТУНИЯ В РАСПЛАВАХ СОЛЕЙ И ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Развитие электрохимических исследований плутония и нептуния в расплавах солей проходило на основе использования результатов аналогичных экспериментов с ураном. Уран, нептуний и плутоний являются химически высокоактивными металлами и даже соли трехвалентных урана и нептуния обладают сильными восстановительными свойствами, поэтому выбор солевых систем для электролитического получения этих металлов ограничен практически только одной системой — хлоридами щелочных металлов. Попытки получения металлического урана электролизом его галогенидов в расплаве хлоридов щелочных металлов описаны задолго до Манхэттенского проекта. Так, одна из таких работ по получению и рафинированию урана опубликована в США еще в 1930 г. [26]. В 40-х годах электролитическое получение и рафинирование металлического урана в расплавах солей интенсивно исследовалось в Аргонской национальной лаборатории и в других организациях, участвующих в Манхэттенском проекте [27].

В СССР первые работы по получению металлического урана электролизом расплавленных солей были выполнены в 1944-45 гг. С.И. Скляренко, Г.Е. Каплан и др. в электрохимической лаборатории Гиредмета, которая была передана в 1951 г. в создаваемый НИИ-10. В конце 40-х и в 50-х годах работы по электрохимии и получению урана в расплавах солей проводятся в НИИ-9, НИИ-10 и в Уральском политехническом институте [28].





2B

Рис. 2. Прообраз атомной электростанции нового типа, разрабатываемый с 50-х годов в Аргоннской национальной лаборатории [32]
2А — Общий вид реактора-бриддера и завода по регенерации топлива, расположенных на одной площадке. 2В — Схема электрохимической очистки топлива от продуктов деления в расплаве солей — ключевое звено в разрабатываемой технологии регенерации облученного топлива

Работы по получению металлического плутония электролизом расплавленных солей впервые были выполнены Л. Муллинсом, Дж. Лири и др. в Лос-Аламосе в 1944 г. [29]. Из-за быстрой коррозии электродов и конструкционных материалов, находящихся в контакте с плутонием, и других технических трудностей электролиз не стал основным методом получения металлического военного плутония, уступив эту роль кальций-термическому методу. Разработанные в 40-х — 50-х годах в Лос-Аламосе [29], Аргоннской национальной лаборатории [30] и в Лаборатории Атомной энергии г. Кнолл, а также в других атомных центрах США методы электролитической очистки плутония от продуктов деления, америция и других актинидов привели к созданию промышленных установок по очистке и регенерации выдержанного военного плутония [31].

В 50-х годах в Аргоннской национальной лаборатории был создан проект экспериментального реактора бридера EBR-II, металлическое уран-плуто-

ниевое топливо которого проходило очистку и регенерацию на полупромышленной опытной установке на расплавах солей, где ключевым процессом было анодное растворение и катодное осаждение металлических урана и плутония. В настоящее время этот проект возрождается с США в усовершенствованном виде под названием "интегральный быстрый реактор" IFR, металлическое топливо которого (U, Pu, Zr) или оксидное (UO_2, PuO_2), будет перерабатываться безводным пироэлектрометаллургическим методом в расплавах хлоридов [32] (рис. 2А и 2В). Этот электрохимический в своей основе метод переработки облученного топлива имеет высокую вероятность вытеснить действующий Пурекс-процесс через одно-два десятилетия, так как объем радиоактивных отходов новой безводной технологии сокращается по оценкам разработчиков в 1000 раз по сравнению с действующей водной экстракционной технологией.

В СССР электролитическое получение плутония в расплавах солей разрабатывалось с 50-х годов в НИИ-9 А.И. Стабровским и др. под руководством академика А.А. Бочвара [28]. Результаты работ не были опубликованы и применялись не для промышленного получения военного металлического плутония, а для рафинирования этого металла в лабораториях и на опытных установках. С 60-х годов электрохимия плутония интенсивно развивается в НИИАР под руководством О.В. Скибы с целью разработки новых пироэлектрометаллургических методов регенерации облученного топлива и рафинирования металлических трансурановых элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по электрохимии нептуния и плутония в 40-х и 50-х годах внесли большой вклад в развитие фундаментальной химии этих элементов и в разработку методов аналитического контроля производства плутония. Электрохимическое получение и рафинирование (очистка) металлического плутония из расплавов солей, основы которого разработаны в 40-50-х годах, развивается в настоящее время как ключевой метод регенерации топлива атомных электростанций будущего поколения — быстрый реактор на металлическом или смешанном (мокс) топливе плюс завод по пироэлектрометаллургической регенерации топлива на одной площадке с реактором.

ЛИТЕРАТУРА

1. **R.E. Conick, M. Kasha, W.H. McVey, G.E. Sheline.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, pp. 227-240.

2. **K.A. Kraus, G.E. Moore.** In the Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, pp. 550-558.

3. **L.B. Magnusson, J.C. Hindman, T.J. La Chapelle.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, Part II, pp. 1059-1071.

4. **C.K. McLane, J.S. Dixon, J.C. Hindman.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, pp. 358-369.

5. **K.A. Kraus.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, pp. 358-369.

6. **J.J. Howland, J.C. Hindman, K.A. Kraus.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, pp. 133-141.

7. **L.B. Magnusson, J.C. Hindman, T.J. La Chapelle.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Volume 14B, Part II, pp. 1059-1071.

8. **E.P. Orlemann, B.B. Brody.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, pp. 118-120.

9. **L.B. Magnusson, T.J. La Chapelle, J.C. Hindman.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, NNES, Part II, pp. 1050-1058.

10. **М.С. Милюкова, Н.И. Гусев, И.Г. Сентюрин, И.С. Скляренко.** Аналитическая химия плутония. Редактор А.П. Виноградов. 1965 г., стр. 52-54, 77-81, 215-251.

11. **П.И. Артюхин, А.Д. Гельман, В.И. Медведовский.** Докл. АН СССР, 1958, том 120Б, стр. 98.

12. **В.Ф. Перетрухин, Н.Н. Крот, А.Д. Гельман.** Изв. АН СССР, Серия химич. 1970, стр. 2644-2645.

13. **С.А. Симакин, В.А. Матящук.** Радиохимия, 1969, т.11, №4, стр. 407-412.

14. **Н.Н. Крот, А.Д. Гельман.** Докл. АН СССР, 1967, т.77, №1, стр. 124-127.

15. **G.T. Seaborg, A.C. Wahl.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, Volume 14B, pp. 25-38.

16. **O.A. Cook.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, Volume 14B, pp. 147-161.

17. **A.H. Jaffey.** In The Actinide Elements; McGraw Hill; New-York, 1954, pp. 596-732.

18. **D.L. Hufford, B.F. Scott.** In The Transuranium Elements; McGraw Hill; New-York, 1949, Volume 14B, Part II, pp. 1149-1184.

19. **B.G. Harwey, H.G. Heal, A.G. Maddock, E.L. Rowley.** J. Chem. Soc., 1947, p. 1010.

20. **D. Cohen.** J. Inorg. Nucl. Chem., 1961, Vol. 18, p. 207.

21. The Actinide Elements; McGraw Hill; New-York, 1954.

22. **M.V. Helly, A.W. Gardner.** J. Inorg. Nucl. Chem., 1958, Vol. 7, p. 245.

23. **F.A. Scott, R.M. Peekema.** In Progress in Nuclear Energy. Ser. IX, Vol. 1, London, Pergamon Press, 1959, p. 64. Second UN Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atom. Energy, Geneva, 1958, Rep. 914.

24. **E. Nebel, D.** Nebel. Kernenergie, 1961, Vol. 4, p. 5.

25. **F. Baumgarther, H. Schmieder.** Radiochim. Acta, 1978, Vol. 25, p. 191.

26. **F.H. Diggs, W.C. Lilliendahl.** Ind. Eng. Chem., 1930, Vol. 22, p. 516.

27. **C. Mazzano, R.A. Holand** "The Electrolytic Refining of Uranium", US A. E. C. Report ANL-5102, Argonne Nat. Laboratory (1953).

28. **А.К. Круглов.** "К истории атомной науки и промышленности", Бюллетень Центра обществ. информации по ат. энергии, 1993, №10, стр. 39-74, №12, стр. 32-68.

29. **L.J. Mulins, J.A. Leary, A.N. Maraman.** "Plutonium Electrorefining", Ind. Eng. Chem. Process Design Develop, 1963, Vol. 2, p. 20.

30. **M.B. Brodsky, B.G.F. Carlson.** "Electrodeposition of Pu and U from Molten Salt Solutions of the Di-Chlorides". J. Inorg. Nucl. Chem., 1962, Vol.24, p. 1675.

31. **L.J. Mulnis, A. Morgan, S. Apgar, D. Christensen.** Six Kilogram Scale Electrorefining of Pu Metal. Los-Alamos Report, LA-7463, MS US-10 (1982).

32. **J.E. Battles, J.J. Laidler, C.C. Pheeters, W.E. Miller.** Pyrometallurgical Processes for Recovery of Actinide Elements. In Actinide Processing. Methods and Materials, p. 135-152. Proceeding of Intern. Symposium of 123 r-d Annual Meeting of Minerals, Metals, and Materials Society in San Francisco, CF, February 1994, Ed. by B. Mishra, W.A. Averill, 1994.

ПЕРВЫЕ ШАГИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ЯДЕРНЫХ ЗАРЯДОВ

Г.А. Соснин

Постановлением Совета Министров за № 805-327 от 08.04.1946 г. при лаборатории № 2 АН СССР (ныне РНЦ "Курчатовский институт") создается КБ-11 для проведения НИР и ОКР по разработке атомных зарядов.

Первоначально перед КБ-11 ставилась задача по разработке двух зарядов, базирующихся на 2-х различных схемах: на принципе имплозивного сжатия делящейся массы плутония (РДС-1) и на принципе сближения делящейся массы урана-235 (РД-2).

Главным конструктором КБ-11 был назначен профессор Харитон Ю.Б., ранее работавший в Институте хим. физики, где возглавлял лабораторию взрывчатых веществ, а в 1944 г. Курчатовым И.В. был привлечен к работам в лабораторию № 2 АН. Директором КБ-11 был назначен Зернов П.М., бывший зам. Министра танковой промышленности. В годы Отечественной войны он занимался перебазированием оборонных заводов в глубь страны и восстанавливал промышленные предприятия в Ленинграде и Сталинграде, разрушенные во время войны. Опыт по оперативному воссозданию крупных предприятий был весьма ценен при строительстве КБ-11.

21.06.1946 г. выходит Постановление Совета Министров за № 1286-525 о строительстве 1-ой очереди научно-исследовательской и производственной базы КБ-11. До выхода этого Постановления (в конце 1945 г.) была образована инициативная группа в составе Ю.Б. Харитона, П.М. Зернова и И.И. Никитина — главного инженера Ленгорпроекта. Эта группа решала вопросы по выбору места размещения КБ-11, транспортного и материального обеспечения его строительства. После длительных поисков места по предложению Б.Л. Ванникова был выбран Саров, названный Арзамасом-16. Его местоположение лучшим образом обеспечивало скрытное проведение взрывных опытов при отработке зарядов и наиболее надежное обеспечение

секретности проводимых работ. Кроме того, имело значение наличие первоначальной производственной базы и производственных рабочих завода № 550 Наркомата боеприпасов, расположенного в Сарове (в годы Отечественной войны этот завод выпускал снаряды для реактивной установки, получившей название "Катюша").

При строительстве КБ-11 для его создателей были предоставлены исключительные условия. Для ускорения работ начальное строительство проводилось до завершения и утверждения проектной документации на строящиеся сооружения, до оформления смет затрат. Расходы оплачивались по фактическим затратам, а материалы, транспорт, строительная техника, предоставлялись без всякой очереди (по наличию).

До создания научно-исследовательской и производственной базы в КБ-11, разработка заряда РДС-1 была начата в Москве на базе лаборатории № 2 АН СССР, НИИ-6 и НИИ-504 (МСХМ).

В лаборатории № 2 конструктор В.А. Турбинер (бывший главный конструктор одного из КБ Министерства авиационной промышленности) под руководством И.В. Курчатова и Ю.Б. Харитона начал разработку общей компоновки атомной бомбы с зарядом РДС-1 и системы задействования взрыва заряда. В НИИ-6 конструктор Н.А. Терлецкий под руководством Ю.Б. Харитона занялся разработкой конструкции макета собственно ядерного заряда.

Все исходные данные для разработки конструкции им выдавались Курчатовым и Харитоном устно. Секретность работ с самого начала была столь велика, что даже Турбинер и Терлецкий первое время не знали о существовании друг друга. Устройство РД-2 на принципе "пушечного сближения" активной массы с самого начала было поручено для разработки НИИ-88, а за КБ-11 закреплялась разработка только заряда из делящегося материала — урана-235. Куратором работ от КБ-11 был назначен конструктор А.И. Абрамов. После успешного испытания РДС-1 работы по РД-2 были прекращены.

Если научные кадры, привлеченные к разработке атомного заряда, имели определенные знания и представление о заряде, проводили ранее исследования по ядерной физике и имели даже открытия в этой области, признанные мировой наукой, то конструкторы совершенно не имели ни опыта, ни знаний по разработке атомного заряда. Они не знали свойств многих материалов, применяемых в заряде, не имели аналогов по системам подрыва заряда с весьма необычными требованиями по задействованию и многое другое. Набор этих знаний и опыта проектирования происходил при разработке конкретных конструкций зарядов путем накопления как положительных, так и отрицательных конструкторских решений. Разработка собственно конструкции заряда РДС-1 проводилась без знания конструкторами каких-либо разведданных, а элементы системы автоматики задей-

ствования заряда и средств контроля электронной системы разрабатывались полностью самостоятельно.

После проведения конструкторами компоновочных работ по атомной бомбе с апреля 1946 г. стали разрабатываться технические задания (ТЗ) на разработку узлов и блоков бомбы для размещения работ во внешние организации. Так, например, ТЗ на баллистический корпус бомбы было выдано в КБ-47 МСХМ, на приборы автоматики подрыва заряда — в ОКБ-700 Кировского завода в Челябинске, в НИИ-504 МСХМ, в ЦКБ-326 и т. д.

На первом этапе работ при привлечении к разработке и изготовлению ряда составных элементов атомной бомбы внешних НИИ и КБ эти организации зачастую не брались за разработку, либо работы по ТЗ КБ-11 проходили с большими трудностями. Это происходило из-за необычно жестких требований по рабочим характеристикам, которые предъявлялись к узлам и приборам, особым ограничениям по их габаритам и весу. Но главная трудность разработчиков заключалась в обеспечении высочайшей надежности работы приборов и безопасности при их применении. Эти трудности привели к тому, что после завершения 1-ой очереди в создании научно-исследовательской и производственной базы КБ-11 большинство таких разработок КБ-11 взяло на себя, поскольку здесь существовало четкое понимание необходимости исполнения выставляемых требований.

Для разработки специфичных блоков системы автоматики подрыва заряда, так же как и для разработки приборов и аппаратуры по физическим и газодинамическим исследованиям по заряду, в необходимых случаях стали привлекать в КБ-11 ведущих специалистов по той или иной системе из специализированных НИИ и КБ страны. Для них создавалась исследовательская и производственная база для разработки и изготовления образцов новой техники. В этом случае наиболее оперативно решались вопросы по уточнению технических требований, приемлемых для изготовителей и допустимых с точки зрения обеспечения физической работоспособности заряда. При этом конструкторы, ответственные за конечный результат — создание работоспособной конструкции, — взаимодействуя с теоретиками, физиками, газодинамиками, исследователями и технологами, набирали опыт и вырабатывали более обоснованные требования к совершенно новому виду изделий отечественной промышленности.

К началу 1947 г. в КБ-11 уже были подготовлены минимальные производственные условия для изготовления экспериментальных образцов элементов заряда и проведения исследований. В июне 1947 г. были назначены директора опытных заводов А.К. Бессарабенко (механический завод № 1) и А.Я. Мальский (завод № 2 по изготовлению деталей и блоков из ВВ [взрывчатых веществ — *ред.*]). Эти заводы стали изготавливать экспериментальные образцы зарядов и блоков, контрольной аппаратуры и измерительной

техники, необходимой при проведении испытаний. Уже в июле 1947 г. в КБ-11 начались исследования взрывных процессов при отработке зарядов.

В марте 1947 г. в КБ-11 стали приезжать исследователи и конструкторы, ранее работавшие в Москве в различных НИИ, но основной приток разработчиков был в мае 1947 г.

В первые годы (до 1949 г.) на работу в КБ-11 привлекались, в основном, специалисты из различных институтов и оборонных предприятий страны с опытом по самостоятельному ведению работ. Ведущие специалисты: физики, теоретики, газодинамики и конструкторы — привлекались (через ПГУ) персонально по конкретным запросам Курчатова и Харитона на выполнение определенных задач по тематике, а производственники подбирались по заявкам директора КБ-11, определяющим количество производственников различных специальностей. Производственники подбирались на оборонных предприятиях их партийными организациями, и только часть из них, после проверки соответствующими службами, направлялись в КБ-11. Лишь в 50-е годы в КБ-11 стали набирать молодых специалистов из ведущих ВУЗов страны.

Весной-осенью 1947 г. были созданы из разрозненных групп разработчиков научно-исследовательские лаборатории и конструкторский сектор. Руководство научно-исследовательскими лабораториями возглавил 1-й заместитель главного конструктора К.И. Щелкин (бывший сотрудник ИХФ АН СССР). Из этого же института А.Ф. Беляев возглавил лабораторию по исследованиям детонации ВВ, а А.Я. Апин — лабораторию по исследованиям, связанным с разработкой нейтронного инициатора. М.Я. Васильев из НИИ-6 возглавил лабораторию по отработке фокусирующей системы заряда натурных размеров. В.А. Цукерман из института машиноведения АН СССР возглавил лабораторию рентгенографических исследований взрывных процессов, а Л.В. Альтшулер — лабораторию по исследованиям и определению уравнений состояния веществ при сверхвысоких давлениях. Е.К. Завойский из Казанского университета возглавил лабораторию по измерению сжатия моделей центрального узла заряда. Н.В. Агеев из Института общей и неорганической химии АН СССР возглавил лабораторию по изучению вопросов металлургии урана и плутония, их свойств и характеристик, вопросов технологии. Лабораторию по натурным испытаниям зарядов в целом возглавил сам К.И. Щелкин. Начальником конструкторского сектора первоначально был В.А. Турбинер (1946-48 гг.), а с октября 1948 г. — Н.Л. Духов, он же был заместителем главного конструктора.

Окончательный вариант КД (конструкторской документации) на заряд РДС-1 был выполнен под руководством Н.Л. Духова ведущими конструкторами В.Ф. Гречишниковым, Н.А. Терлецким, Д.А. Фишманом, П.А. Есиным, Б.А. Юрьевым, И.А. Братухиным.

В феврале 1948 г. в КБ-11 создается теоретическая группа Я.Б. Зельдовича (из Института химической физики) для проведения работ по созданию

новых более совершенных ядерных зарядов и для осуществления связи с Институтом химической физики, с Математическим институтом АН СССР, с расчетным бюро Института химических проблем и с математическим отделом Института геофизики, где проводились первоначально теоретические и расчетные работы по зарядам. Первоначально в группу теоретиков входили Е.И. Забабахин, Г.М. Гандельман, Д.А. Франк-Каменецкий, Н.А. Дмитриев, В.Ю. Гаврилов. Позднее в группу пришел Е.А. Негин.

При разработке РДС-1 в ходе лабораторных исследований были созданы многие уникальные установки и методики исследования процессов, протекающих в микросекундные времена, создана производственная база, способная изготавливать изделия на исключительно жесткие требования.

Создание научно-исследовательской и производственной базы в период разработки РДС-1 обеспечило более быструю разработку последующих зарядов.

В первой половине 1949 г. основные проблемы по разработке РДС-1 были решены и 29-го августа 1949 г. был успешно испытан первый атомный заряд РДС-1[1]. Это испытание позволяло более уверенно вести разработку следующих, более совершенных конструкций зарядов. Учитывая политическую обстановку того времени, руководством страны было принято решение об изготовлении небольшой партии боевых зарядов уже с лета 1950 г. Изготовление этих изделий было на производственной базе опытного КБ-11.

В это же время началось строительство на территории КБ-11 завода № 3 для серийного изготовления зарядов с целью высвобождения опытного производства для разработки новых изделий. Такое размещение завода №3 определялось тем, что в создаваемом серийном производстве еще не было опыта по изготовлению весьма специфичных изделий и было необходимо иметь разработчиков зарядов в непосредственной близости от производства. Заряд РДС-1 и бомба в целом по эксплуатационным качествам были далеки от совершенства. Поэтому для улучшения эксплуатационных качеств, повышения гарантийных сроков эксплуатации и других конструкционных характеристик в КБ-11 были созданы лаборатории по отработке конструкций зарядов на механические и тепловые воздействия. На базе этих лабораторий позднее в КБ-11 был создан научно-исследовательский комплекс (НИК), оснащенный современным оборудованием, обеспечивающим отработку конструкций на самые жесткие виды воздействий.

С 1948 г. теоретическая группа КБ-11 начала разработку изделий с лучшими, чем у РДС-1, характеристиками по удельной мощности, экономичности и габаритно-весовым показателям. В конструкционном отношении

---

[1] Неотъемлемой и важнейшей частью реализации проекта по созданию РДС-1 являлись работы по изготовлению плутониевого заряда, выполненные в цехе № 4 завода "В" комбината "Маяк" в Челябинске-40 (см. доклад Н.И. Иванова) — *примечание редактора.*

эти изделия были сложнее, чем РДС-1, что потребовало более тщательной отработки их газодинамических качеств и механической прочности.

Успешные испытания в 1951 г. заряда РДС-3 предопределило развитие этого направления в последующие годы. После лабораторной отработки заряд стал изготавливаться серийно на заводе № 3 КБ-11.

Примерно в это же время началась разработка 1-го водородного заряда РДС-6, который был успешно испытан 12-го августа 1953 г.

Создание этого изделия было существенным шагом в отечественном зарядостроении. Разработка заряда потребовала создания новых производств по наработке трития, по приготовлению водородосодержащих соединений, их всестороннего исследования, создания технологических условий для изготовления деталей из этих материалов и т.д. И хотя это изделие после испытания не пошло в производство из-за низкой его боевой готовности, накопленный разработчиками опыт и созданная производственная база были использованы при разработке более совершенных термоядерных зарядов.

Так, по мере разработки теоретических изысканий и создания новых зарядов для различных родов войск, постоянно совершенствовалась научно-исследовательская и производственная база КБ-11, превращая его в крупный, хорошо оснащенный научный центр со специфичной (зарядной) ориентацией.

Многое в становлении атомной промышленности предопределил начальный период развития и научно-техническое руководство работ. Из числа многих организаторов и научных руководителей, участвовали в создании КБ-11, следует назвать Б.Л. Ванникова, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона, П.М. Зернова, Б.Г. Музрукова, А.П. Александрова, К.И. Щелкина, Н.Л. Духова, Н.А. Петрова, А.К. Бессарабенко, А.Я. Мальского и других.

Создать атомную промышленность в разоренной войной стране за рекордно короткие сроки можно было только при полной мобилизации всех сил страны, при огромной воле и патриотизме людей, участвующих в этой грандиозной работе.

ПЕРВЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЗАРЯД

Н.И. Иванов

В Советском Союзе первый ядерный заряд был изготовлен летом 1949 года в четвертом цехе завода "В" комбината "Маяк".

В то время все было подчинено одной цели — создать атомную бомбу в максимально сжатые сроки. И сейчас особенно ясно, что все события тогда проходили, подчиняясь негласному, но неукоснительно действовавшему правилу: "Ждать, пока все будет так, как этого хочется, нельзя. Надо делать то, что требуется для продвижения работы вперед и делать это в условиях, которые существуют сейчас. А как именно это делать, должны решать те, кому это поручено, и делать это, не теряя ни одного дня".

Когда стало ясно, что на радиохимическом заводе "Б" из облученных в реакторе "А" блочков раствор, содержащий плутоний, будет получен раньше, чем завершится монтаж оборудования в цехе № 1 завода "В", где должны были получить металлический плутоний, возник цех №9. В срочно отремонтированном бараке, который стоял на площадке завода "В", где должна была разместиться механическая мастерская механика завода, было смонтировано полулабораторное оборудование, и в условиях, которые теперь можно представить себе только в тревожном и беспокойном сне, были получены слитки плутония для первых атомных бомб.

И к цеху № 4 плутоний приближался быстрее, чем шло его строительство. Поэтому из цеха и строители, и монтажники были буквально вытеснены сотрудниками цеха.

Научное руководство завода "В" разместилось примерно в 100 метрах от промзоны в специально собранном для них финском домике. Там, кроме А.А. Бочвара, назначенного ответственным за получение металлического плутония и за изготовление изделий из него, жили научные руководители работ в цехе 9 И.И. Черняев и А.Д. Гельман из ИОНХа, А.Н. Вольский и В.Д. Никольский из НИИ-9, научный руководитель цеха 4 А.С. Займовский

и научный руководитель нейтронной лаборатории цеха 4 Л.И. Русинов из ЛФТИ. Близость финского домика к цехам 9 и 4 позволяла научным руководителям при необходимости в считанные минуты быть на производстве.

В цехе 4 работой руководили А.А. Бочвар и А.С. Займовский. Вместе с ними была небольшая (около 13 человек) группа сотрудников НИИ-9. В штате цеха было всего 50 человек. Все работы с плутонием шли под высшим в то время грифом секретности "Совершенно секретно. Особая папка", и о результатах экспериментов исполнители имели право сообщать только А.А. Бочвару и А.С. Займовскому. Ответственность за сохранность плутония была возложена на начальников подразделений, и работа с открытым плутонием шла только в их присутствии.

Круг вопросов, решенных в цехе 4 за период времени немногим более 100 дней, был поразительно большим, хотя все делалось впервые, а до начала работ большинству о плутонии было известно только то, что это высокорадиоактивный и весьма вредный радиотоксичный элемент.

Во-первых. Экспериментально было доказано, что имевшиеся сведения о плутонии не были блефом. Были определены важнейшие ядерно-физические характеристики плутония и подтверждено, что плутоний действительно делящийся материал. Сделано это было в лаборатории нейтронных измерений цеха. Кроме И.В. Курчатова и Ю.Б. Харитона, в ней часто бывали Я.Б. Зельдович, Г.Н. Флеров и другие ученые из КБ-11. Группа физиков, руководимая Г.Н. Флеровым, при участии И.В. Курчатова, на первых деталях ядерного заряда определила критическую массу плутония.

Во-вторых. В цехе были определены все основные характеристики и свойства металлического плутония, нужные и конструкторам, и технологам. Данные о плотности, температуре фазовых превращений и коэффициентах линейного расширения всех фаз плутония и изменениях объема при каждом фазовом переходе были получены начальником физической лаборатории Валерией Дмитриевной Бородич. Дилатометрические кривые она получила на дилатометре ее собственной конструкции, который был изготовлен на заводе по ее эскизным чертежам менее чем за две недели.

Данные о кристаллической структуре плутония получил начальник рентгеноструктурной лаборатории Филипп Петрович Бутра, который снял дебаеграммы пяти фаз плутония, обнаруженных на дилатометре, и расшифровал структуру дельта- и эпсилон-фаз плутония.

Высокую прочность и хрупкость альфа-фазы плутония обнаружили при измерении ее микротвердости в металлографической лаборатории при первой попытке расколоть слиток плутония.

Склонность плутония к растрескиванию установили после отливки первого же образца плутония, имевшего форму полушария. На нем уже на вторые сутки появились трещины.

Очевидную сложность технологических свойств плутония устранили путем его легирования. Исследования ряда сплавов плутония, которые

выполнили в физической и рентгеноструктурной лабораториях, показали, что лучшим легирующим элементом, надежно фиксирующим дельта-фазу, является галлий, и сплав плутония с галлием выбрали как материал для изготовления деталей ядерного заряда.

Совершенно ясно, что исследования плутония начали лишь после того, как в литейном отделении цеха была освоена технология литья плутония и были отлиты из него заготовки, из которых в отделении механической обработки плутония резанием изготовили образцы нужных для исследований формы и размеров. Это была первая и одна из сложнейших задач, решенных в цехе 4.

К тому времени, когда слитки плутония были получены из цеха 9, монтаж основного оборудования литейного отделения не был закончен, а разработку технологии изготовления тиглей для плавки плутония, которую вели также в литейном отделении, не завершили. К счастью, среди оборудования, привезенного из НИИ-9 в отделение, была высоковакуумная установка, предназначенная для напыления металлических покрытий на керамические изделия. Еще в институте ее решили приспособить как лабораторную для работы с плутонием. Именно на этой установке были отлиты заготовки образцов для всех лабораторных исследований плутония и его сплавов, а затем и все слитки сплава плутония с галлием, из которых были изготовлены детали первого комплекта ядерного заряда.

Первую плавку на установке провели А.С. Займовский, начальник отделения Сергей Иванович Бирюков и начальник смены Олег Александрович Глушцов. Долгое время каждую плавку на установке проводили с большой долей риска, так как на донной утолщенной части тиглей после их предварительного тренировочного прогрева появлялись трещины, и поэтому для каждой плавки из всех изготовленных к моменту плавки тиглей комиссионно выбирали лучший.

Сама установка была размещена в помещении лаборатории гамма-дефектоскопии, а отливки из литейной формы извлекали в комнатах литейного отделения прямо на рабочих столах, покрытых фильтровальной бумагой. Защитой от плутония служили только резиновые перчатки и марлевая повязка — "респиратор".

Одной из решенных важнейших задач было изготовление деталей ядерного заряда. Когда начали их изготовление, в цехе сошлись все высшие руководители: И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон, Б.Л. Ванников, А.П. Завенягин, Б.Г. Музруков, Е.П. Славский. Как правило, они не вмешивались в ход работы на рабочих местах непосредственно, но их присутствие ощущалось по той поразительной быстроте, с которой устранялись все возникавшие заторы в работе. Атмосфера в цехе в те дни была насыщена эмоциями, и в тех случаях, когда напряжение достигало предела, высшие руководители иногда сами включались в работу.

Из трех вариантов технологии, которые предложил институт, литейный вариант нельзя было быстро реализовать, так как основное литейное оборудование было готово к работе с плутонием только осенью 1949 года, а технология изготовления тиглей, емкость которых была достаточна для отливки заготовки детали нужной массы, была разработана еще позже. Проработку варианта формирования заготовки из порошка, получаемого гидрированием и дегидрированием плутония, в цехе прекратили из-за трудностей в обеспечении безопасности работ.

В этой ситуации удивительно подходящей оказалась технология диффузионного сваривания кусков плутония под давлением в высоком вакууме, разработанная под научным руководством Андрея Григорьевича Самойлова в отделении прессования, начальником которого был Борис Николаевич Лоскутов. Эта технология позволила использовать для изготовления заготовок все слитки сплава, отлитые на колпаковой установке, независимо от их массы и, не теряя ни одного дня, начать изготовление деталей сразу, как только в цехе было накоплено, проверено и признано годным достаточное для этого количество металла.

Разработка этой технологии шла весьма драматично.

1. В первом опыте по свариванию кусков алюминия, который проводили в аппарате, привезенном из института, при извлечении спрессованная деталь развалилась. А.Г. Самойлов видел причину неудачи в конструкции прессформы. По чертежам, которые он вместе с Ф.И. Мыськовым сделал за пару дней, на одном из оборонных заводов г. Горького по просьбе Б.Г. Музрукова срочно были изготовлены и доставлены самолетом новые детали прессформы. Кроме того, в аппарате с помощью ответственных сотрудников Института вакуумной техники имени Векшинского, вызванных из Москвы, была изменена система получения вакуума. И уже через две недели после первого неудачного опыта новый опыт по свариванию кусков алюминия прошел удачно, и все было готово к работе с плутонием.

2. Процесс вакуумного прессования первой заготовки детали из сплава плутония в усовершенствованном аппарате прошел без замечаний. К началу работ по извлечению первой заготовки из аппарата приехали все руководители. Начали разборку прессформы. Заготовка не извлекалась. Отделить ее от матрицы не удавалось. И тогда Е.П. Славский взял риск и ответственность на себя и большим тяжелым молотком сильно с размаху ударил по зубилу, установленному по линии разъема матрицы. Матрица разошлась, заготовка была цела. Все вздохнули с облегчением. На поверхности заготовки были хорошо видны следы взаимодействия плутония с материалом матрицы. Тут же было принято решение — наносить на рабочие поверхности матрицы и пуансона медное покрытие.

3. В принятой технологии всех тревожила возможность попадания между кусочками плутония посторонних включений. Необходимо было доказать, что в полученной заготовке нет ни включений, ни пустот. И хотя была

уверенность, что качество заготовки обеспечено, результата гамма-дефектоскопии ждали с нетерпением.

При просмотре еще не вполне просохших пленок, на одной из них четко увидели темный достаточно крупный треугольник. В цех сразу приехали И.В. Курчатов и Б.Л. Ванников. Игорь Васильевич тут же дал схему повторного просвечивания, которая позволяла точно ответить, есть ли в заготовке дефект. Утром следующего дня оказалось, что начальник лаборатории В.А. Коротков внес в схему "улучшение" и ясности опять нет. Только после третьего просвечивания точно по схеме И.В. Курчатова стало ясно, что темный треугольник — это дефект в свинцовом компенсаторе, в который помещалась заготовка при просвечивании, и можно было доложить в Москву (что ежедневно делали И.В. Курчатов и Б.Л. Ванников), что заготовка первой детали изготовлена.

4. Для получения из этой заготовки детали заданных размеров, необходимо было с ювелирной точностью провести ее токарную обработку. Это сделал Александр Иванович Антонов — токарь высшей квалификации отделения механической обработки плутония, начальником которой был Алексей Иванович Мартынов.

Несмотря на высокую квалификацию токаря, учитывая сложность и ответственность работы, для обточки заготовки был установлен порядок, по которому после каждого прохода резца научный руководитель работы Михаил Степанович Пойдо рассчитывал размеры заготовки и только после этого делали следующий проход резца. Пока шла обточка заготовки, у станка все время стоял А.П. Завенягин. Как рассказывал потом М.С. Пойдо, Завенягин во время работы неожиданно возбужденно сказал ему, что деталь запорота. Все заверения, что это не так, были напрасны. Деталь сняли со станка, замерили, подтвердили, что ее размеры точно соответствуют расчетам и только тогда продолжили работу. Измерения, проведенные после завершения обточки, показали, что первая деталь заданных размеров получена.

В сборке детали ядерного заряда должны были выдерживать определенные нагрузки. К тому времени из всех механических характеристик сплава плутония знали только значение модуля Юнга, который по просьбе Ю.Б. Харитона определил Вячеслав Вячеславович Калашников — начальник лаборатории механических испытаний. Уверенности в том, что принятая технология диффузионной сварки обеспечит нужную прочность детали, не было. Требовалось провести испытания на несущую способность. С волнением деталь поставили под пресс и через специальное приспособление дали требуемое давление. Размеры детали не изменились. Это подтвердило правильность выбора и сплава, и режима сварки.

Вскоре, пройдя по всем операциям без осложнений, была изготовлена и вторая деталь ядерного заряда.

В готовом виде детали должны были иметь металлическое покрытие, исключающее выход альфа-излучения. Но в то время, когда изготовление

деталей уже приближалось к концу, технологии нанесения покрытий в цехе еще не было. И здесь в цехе неожиданно появился Александр Иосифович Шальников, сотрудник института П.Л. Капицы, друг Ю.Б. Харитона по ЛФТИ. Насколько это было неожиданным, видно из того, что на следующий день утром в цех приехал И.М. Ткаченко, генерал-лейтенант КГБ, личный представитель Берии на комбинате, с тем, чтобы выяснить, кто пустил Шальникова в цех. Инцидент закончился благополучно.

А работа уже шла полным ходом. В помощь А.И. Шальникову А.С. Займовский собрал группу сотрудников цеха. Живое участие в этой работе принял Ю.Б. Харитон. И вскоре все, что запросил А.И. Шальников, было в цехе, установка собрана, проверена и готова к работе. Вид установки был сугубо лабораторный, но она исправно проработала больше года.

На первую деталь покрытие было нанесено успешно. При осмотре поверхности детали А.А. Бочвар обнаружил несколько раковин. Тут же родилась методика контроля — фильтровальной бумагой брать с поверхности детали вблизи раковин мазки и проверять их на альфа-активность. Раковины оказались несквозными.

При покрытии второй детали произошло ЧП — на внутренней поверхности детали при покрытии образовался высокий никелевый дендрит, который нельзя было удалить без нарушений сплошности покрытия. Когда А.С. Займовский доложил об этом Б.Л. Ванникову, тот жестко пообещал ему, что если деталь будет повреждена, он отдаст его под суд. Как потом рассказывал А.С. Займовский, его реплика, что он не боится суда, вызвала неожиданную реплику Б.Л. Ванникова, воскликнувшего: "А я вот боюсь!"

Но, к счастью для всех, после того, как с детали сняли покрытие, она была такой же как до покрытия, повторное нанесение покрытия прошло успешно.

Но покрытие на обеих деталях было неравномерным по толщине. И здесь проявилось высокое мастерство чудо-слесарей лекальщиков отделения механической обработки Г.В. Симакова и Ю. Пониматкина. Используя для обработки никелевого покрытия только стандартные инструменты (напильники, надфили, притиры, притирочную плиту), они сумели изготовить детали, допуски на размеры которых были весьма жесткими, а толщина покрытия в любой точке поверхности детали не должна была превышать заданного значения. Выполнить это последнее требование и доказать, что оно выполнено, оказалось возможным благодаря простейшему приборчику, идея которого принадлежала А.С. Замойскому. Это был тонкий магнитный стержень на спиральной пружине, величина растяжения которой была проградуирована по тут же изготовленному эталону толщины слоя никеля.

Отличить готовые детали друг от друга без тщательных измерений было совершенно невозможно, и по настоянию Ю.Б. Харитона, несмотря на серьезные опасения, они были замаркированы, и сделали это обычными стальными клеймами.

Теперь детали были готовы к сдаче их приемке.

Вместе с деталями приемке предъявили документацию, полностью характеризующую и материал деталей, и сами детали. Документация на материал, названная первичной, была оформлена в виде актов, в которых по каждому куску плутония, вошедшему в деталь, было приведено фактическое значение всех проверенных характеристик металла, и каждый результат был подтвержден подписями ответственного исполнителя, заместителя начальника цеха Н.И. Иванова и приемщика В.Г. Кузнецова. Еще до официального предъявления приемке Ю.Б. Харитон попросил показать ему всю собранную у меня первичную документацию. Скрупулезно, с поразительной тщательностью он проверил в актах каждую цифру и каждое слово.

Все данные о деталях были собраны в формуляр, который подписали И.В. Курчатов, А.А. Бочвар, А.С. Займовский, Е.П. Славский, Б.Г. Музруков и как приемщики деталей — Ю.Б. Харитон и В.Г. Кузнецов.

Параллельно с накоплением экспериментальных данных о плутонии в цехе шла и выработка норм на все контролируемые параметры и создавались технические условия на плутоний и детали ядерного заряда, учитывающие и требования конструкторов, и возможности производства. Установленные тогда нормы действовали потом многие годы.

Принятые детали пробыли в цехе недолго и в ближайшую ночь были вывезены в сопровождении такого большого эскорта, что все, кто жил в поселке вблизи дороги, ведущей от завода, утром спрашивали, что случилось в цехе.

После успешного испытания атомной бомбы в цехе по указанию Б.Л. Ванникова были впервые созданы инструкции на каждую технологическую операцию, связанную с изготовлением деталей ядерного заряда. В конце инструкции по требованию Б.Л. Ванникова было написано предупреждение, что виновные в нарушении инструкции будут отданы под суд.

Когда говоришь сейчас и о жесткости режима секретности в цехе, и о строгой ответственности, установленной для всех работавших с плутонием, может легко сложиться совершенно ложное представление, что в цехе царила атмосфера скованности и страха. Но этого не было. Удивительные люди — и ученые, и администраторы, возглавлявшие эти работы, а в цехе № 4 это особенно А.А. Бочвар, — сумели создать и поддерживать в цехе психологический климат, исключавший расхлябанность, но стимулирующий творческий поиск, когда для каждого было главным сделать то, что ему поручено как можно лучше и быстрее. И, вспоминая теперь то время, становится ясным, что именно это в значительной степени обеспечило решение всех стоявших сложнейших проблем в невероятно короткие сроки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА В СССР В 1943—1950 гг.

О.Д. Симоненко

В статье прослеживаются моменты преемственности и взаимовлияния в экспериментальных исследованиях и инженерных разработках, проведенных в 1943-1950 гг. при освоении различных методов разделения изотопов урана.

История создания в СССР промышленной технологии разделения изотопов урана к настоящему времени получила разностороннее освещение в трудах А.К. Круглова, Н.М. Синева, А.Г. Плоткиной, Е.М. Воинова, А.М. Петросьянца, В.Н. Прусакова, А.А. Сазыкина и др. [1]. В этих работах вполне обоснованно принята такая форма изложения, при которой промышленное освоение каждого из методов разделения предстает как отдельная история. В то же время следует обратить внимание на тот факт, что реально промышленное разделение изотопов урана различными методами было осуществлено в короткие сроки одной и той же генерацией ученых и инженеров, тесно объединенной как содержанием физико-технических проблем, так и иерархией организационных структур. И под таким углом зрения это одна история — история экспериментальных и теоретических исследований, поисков инженерных решений при становлении отечественной разделительной промышленности.

Как известно, ориентация с 1943 г. на газодиффузионный метод разделения изотопов как на реальную промышленную технологию получения ядерной взрывчатки не приостановила работ по изучению применимости других методов, в том числе метода центрифугирования. В довоенный период отечественные физики именно этот метод считали перспективным для разделения изотопов тяжелых элементов. В 1939-1940 гг. в Совет Министров

СССР была подана докладная записка о том, что необходимо ассигновать средства для развития работ по ядерной физике, в том числе для развития методов разделения изотопов. В рамках этих ассигнований для Ф.Ф. Ланге (1899-198?) в 1941-1942 гг. на Уфимском авиационном заводе был изготовлен первый образец центрифуги, спроектированной специально для экспериментальных работ по разделению изотопов в газовой фазе.

Фриц Фрицевич Ланге родился в г. Берлине. В 1924 г. окончил Кильский университет. Ученик и сотрудник В. Нернста (1864-1941), директора Физического института Берлинского университета в 1924-33 гг., Ф. Ланге был известен советским физикам своими экспериментами по использованию атмосферных разрядов для получения жестких рентгеновских лучей. В 1933 г. Ф. Ланге, антифашист по убеждениям, эмигрировал в Англию. В Лондоне он получил от А.И. Лейпунского (1903-1972) приглашение в СССР и с 1935 г. работал в УкрФТИ в Харькове, где занимал должность заместителя директора по научной работе. Под его руководством в 1936 г. был построен высоковольтный импульсный генератор, на котором проводились успешные исследования по ядерной физике. В 1937 г. Ф. Ланге принял советское гражданство.

Весной Ф. Ланге был прикомандирован в Лабораторию электрических явлений УФАН, возглавляемую Исааком Константиновичем Кикоиным (1908-1984). С ним были доставлены детали центрифуги его конструкции. Прибыл и специалист-механик для монтажа центрифуги на специальном фундаменте, установленном в подвальном помещении лаборатории. Здесь установка была впервые собрана и проверена в действии.

Экспериментальную работу на центрифуге в 1943-1945 гг. проводили Ф. Ланге и Данил Лукич Симоненко (1910-1973), работавший в УФАН в лаборатории И.К. Кикоина с 1937 г. В характеристике, которую научный руководитель по проблеме получения обогащенного урана И.К. Кикоин дал Д.Л. Симоненко в первые годы их работы в Москве в Секторе №2 АН СССР, говорится: "Почти десятилетняя совместная работа убедила меня в том, что т. Симоненко является выдающимся экспериментатором с большой эрудицией и работоспособностью, быстро ориентирующимся в различных областях физики и техники (физика металлов, газовый разряд, молекулярная физика и др.)" [2].

В конце 1950-х гг. Д.Л. Симоненко по поручению И.К. Кикоина написал на основе рабочих дневниковых записей "Очерк истории развития экспериментальных исследований, необходимых для создания промышленных методов разделения изотопов урана", охватывающий период с 1942-43 гг. по середину 1950-х гг. В этом очерке содержится описание лабораторной стадии работ с центрифугой Ф. Ланге, история разработки самокаскадирующей противоточной разделительной колонки и целый ряд эпизодов, характеризующих как практический ход решения проблемы разделения изотопов урана, так и сопровождающую его интеллектуальную и творческую

атмосферу. Основой последующего изложения является содержание вышеозначенного очерка [3].

Основной задачей экспериментальной работы с центрифугой Ф. Ланге являлось изучение возможности умножения первичного эффекта обогащения путем налаживания осевой термоциркуляции газа внутри секционированной горизонтальной центрифуги. Ротор центрифуги представлял собой стальной цилиндр диаметром 250 мм, длиной 600 мм и толщиной стенок 5 мм. Скорость его вращения в опытах составила 8-10 тыс. оборотов в минуту. Вдоль оси ротора проходил толстый вал (диаметром 70 мм), который устанавливался горизонтально, в массивных колоннах на специальных подшипниках. В конструкции центрифуги был предусмотрен вариант сборки, при котором вращался только ротор, а вал машины оставался неподвижным. Вдоль оси вала, через сложную систему вакуумных уплотнений вводились три трубки, через которые производилась подача разделяемой смеси ("питание") и отборы проб обогащенной легкой компоненты (легкая фракция) и обедненной —"тяжелой" фракции. Весь объем ротора центрифуги мог быть разделен с помощью тонких круглых дисков — ламелей — на 20, 40 и 60 коротких цилиндрических камер. Центрифуга в сборе представляла собой громоздкое сооружение, общий вес деталей которого составлял немногим меньше тонны.

Устройство для создания градиента температуры вдоль образующей вращающегося цилиндра центрифуги представляло собой водяную ванну, окружающую ротор центрифуги. Дно ванны имело форму полуцилиндра. Объем ванны разделялся перегородками на 8 камер. В первой камере поддерживалась температура 0 ^{0}С, в восьмой камере помещался электрический подогреватель.

К осени 1943 г. было проведено более 20 опытов с центрифугой, разделенной на 48SO секций. В качестве модельных смесей использовались смеси водорода с воздухом и воздуха с углекислотой. Стремление организовать для умножения первичного эффекта разделения устойчивую осевую циркуляцию газа во вращающемся роторе привело к экспериментам с бескамерной центрифугой и к изменениям в способах отбора проб и измерения температур и давлений внутри ротора.

К середине 1944 г. были проведены три серии экспериментов. Одна из них была осуществлена в таком варианте сборки центрифуги, который нигде не был описан — вращающийся цилиндр с неподвижным валом, через который вводились неподвижные термопары и отборные трубки. В этой серии опытов была сделана попытка измерить температуру газа на ходу машины, непосредственно в уплотненных областях — на периферии центрифуги. Оттуда же отбирались и пробы газа для анализа.

В результате этих опытов было установлено, что неподвижные отборные трубки вызывают эффект торможения набегающего уплотненного слоя газа. Тем самым расстраивалась циркуляция газа, создаваемая искусственно

поддерживаемым градиентом температуры вдоль оси вращающегося ротора центрифуги. Экспериментаторы меняли форму отборных трубок и их расположение, фиксируя величины и направление газодинамических эффектов, вызываемых обтеканием неподвижных деталей набегающим потоком. При этом Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко рассматривали эффект торможения газа как помеху в реализации температурного способа возбуждения осевой циркуляции в центрифуге, что являлось основной целью их работы в 1943-44 гг.

Тем не менее полученная в этих экспериментах физическая информация о резком изменении и величины, и направления циркуляции под влиянием неподвижных отборных трубок, введенных в уплотненную часть газа вблизи внутренней поверхности стенок вращающегося ротора, нашла применение в 1950-54 гг. По предложению И.К. Кикоина эффект торможения набегающего потока газа был задействован в вертикальных центрифугах с коротким жестким тонкостенным ротором, идея создания которых была выдвинута Евгением Михайловичем Каменевым (1910-1963). Это обеспечило возникновение противоточной циркуляции внутри ротора и позволило осуществить течение газа по межмашинным коммуникациям, то есть каскадирование центрифуг.

Следствием опытов с центрифугой в 1943-44 гг. в г. Свердловске явилась разработка оригинальной установки — самокаскадирующей противоточной колонки для разделения газовых смесей и изотопов. Идея ее устройства возникла у экспериментаторов при выяснении причин зафиксированного ими эффекта "самопроизвольного" разделения смеси газов в неподвижной центрифуге. К марту 1945 г. Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко провели ряд успешных экспериментов с противоточной колонкой. На этом их совместная работа закончилась. Ф. Ланге был переведен в Москву, где возглавил Лабораторию №4 при ПГУ. В 1956 г. он выехал в ГДР. Д.Л. Симоненко был в 1945 г. переведен в Москву в возглавляемый И.К. Кикоиным Сектор №2 Лаборатории №2 АН СССР. Здесь Д.Л. Симоненко продолжил работу над противоточно-диффузионной колонкой. К марту 1947 г. на ней было получено около 25 проб обогащенного шестифтористого урана. Определение изотопического состава проб было произведено в институтах "А" и "Г" вблизи г. Сухуми, куда был командирован Д.Л. Симоненко.

По запросу руководителя института "Г" Г. Герца (1887-1975) ВЧ-граммой из ПГУ Симоненко Д.Л. было поручено информировать его сотрудников о работе по диффузии против потоков пара, что и было сделано в форме доклада на семинаре. В свою очередь Д.Л. Симоненко ознакомился с работой Г. Герца над каскадом молекулярных насосов и с экспериментальной установкой М. Штеенбека, на которой изучались вопросы устойчивости *длинного тонкостенного ротора. В ней уже была игольчатая нижняя опора,* идея использования которой возникла, по свидетельству М. Штеенбека, при конструировании прибора для измерения эффекта разделения при

электромагнитном методе. В 1948 г. М. Штеенбек обнаружил эффект получения циркуляции газа от неподвижной крепежной шайбы в верхней крышке ротора. С открытием нового эффекта М. Штеенбека поздравили на заседании во главе с известным аэродинамиком Михаилом Дмитриевичем Миллионщиковым (1913-1973) [4].

В мае 1947 г. на Секции №2 Научно-технического совета ПГУ по предложению И.К. Кикоина было обсуждено сообщение Д.Л. Симоненко "О результатах работы по разделению изотопов урана методом диффузии против потока пара нейтральной жидкости". В это время уже велась интенсивная работа по проектированию и изготовлению диффузионных машин различной производительности, и необходимость в разработке полупромышленного варианта противоточной колонки специально для разделения изотопов урана отпала. Она нашла свое место для разделения легких изотопов и легких газовых смесей. Д.Л. Симоненко полностью включился в работы по газодиффузионному методу разделения и с 1949 по 1955 г. являлся председателем Приемной комиссии ПГУ по испытаниям диффузионных ступеней и каскадов.

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Основные публикации в порядке появления:
   Синев Н.М. Обогащенный уран для атомного оружия и энергетики. М.: ЦНИИатоминформ, 1991, с. 138;
   Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность СССР. М.: ЦНИИатоминформ, 1994, с. 378;
   Прусаков В.Н. Обогащение урана в России: начало и перспективы// Материалы юбилейной сессии Ученого Совета Центра. М.: РНЦ "Курчатовский институт", 1994, сс. 55-78;
   Воинов Е.М., Плоткина А.Г. Разработка метода разделения изотопов урана// История атомного проекта. М.: РНЦ "Курчатовский институт", вып. 3/95, сс.5-54;
   Петросьянц А.М. К истории получения обогащенного урана на комбинате №813// Создание первой советской атомной бомбы. М.: Энергоатомиздат, 1995, сс. 249-288.
2. Личный архив Д.Л. Симоненко.
3. Рукописный экземпляр очерка находится в личном архиве Д.Л. Симоненко.
4. См. **Штеенбек М.** Путь к прозрению. Пер. с нем. М.: Наука, 1988, сс. 178-180.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ПУСК ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОЛОНИЯ ДЛЯ НЕЙТРОННЫХ ЗАПАЛОВ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

С.Л. Фаддеев, Г.С. Синицына, А.С. Абакумов, Б.В. Петров, Г.И. Антонов, А.В. Смирнов

Создание ядерного оружия инициировало рождение, становление и развитие многочисленных новых областей науки и техники. К их числу относится разработка технологии и создание промышленного производства полония-210. Открытый Марией и Пьером Кюри в 1898 г. полоний стал первым химическим элементом, вписанным в таблицу Д.И. Менделеева после открытия радиоактивности и — первым элементом, не имеющим стабильных изотопов.

С момента открытия и до начала работ над ядерным оружием полоний-210 (период полураспада 138 дней) получали путем выделения из продуктов распада радия и радона, и он был доступен только в микроколичествах. Тем не менее многочисленные исследовательские работы, выполненные в довоенный период во Франции, Германии, СССР, Англии и других странах, позволили достаточно полно исследовать химические, физико-химические, физические и ядерно-физические свойства полония-210 и некоторых его изотопов. Химические свойства полония были изучены на доступном изотопе полония — полонии-210.

Можно сказать, что перед началом работы по получению больших количеств полония исследователи располагали значительным объемом информации, позволявшим приступить к разработке технологии получения полония.

Исходным моментом для начала работ послужило решение, принятое в 1946 г. в КБ-11 Ю.Б. Харитоном и К.И. Щелкиным о создании нейтронного запала (НЗ) на основе полоний-бериллиевого источника. Научный руково-

дитель радиохимических работ Советского атомного проекта академик В.Г. Хлопин поручил двум группам исследователей из РИАНа и НИИ-9 (впоследствии ВНИИНМ) приступить к разработке технологии получения полония из облученного висмута.

В Радиевом институте руководителем работы и активным ее исполнителем был Д.М. Зив, впоследствии доктор химических наук, профессор. Работы с полонием в Радиевом институте начали проводиться с 1925 г. И.Е. Стариком, с 1934—1938 гг. — А.Г. Самарцевой и Д.М. Зивом.

В РИАНе имелся некоторый фонд радия, и была единственная в стране радоновая установка. Учитывая сложность работ по выделению полония из радия, в 1946 г. было принято решение выделять полоний из старых радоновых ампул, длительное время хранившихся в РИАНе. Выделение полония путем отделения от материнского RaD (изотоп свинца) производили по описанным в литературе методикам. Выделенный полоний растворяли в азотной кислоте и смешивали с азотнокислым раствором висмута. На таких искусственно приготовленных растворах были проведены первые опыты по отработке технологии отделения полония от больших количеств висмута.

В НИИ-9 работами руководила доктор технических наук, профессор З.В. Ершова.

Для того чтобы дать возможность конструкторам ядерной бомбы проводить необходимые физические измерения, академики И.В. Курчатов и В.Г. Хлопин в 1946 г. поручили НИИ-9 [1] выделить полоний-210 из 15 г радия. Из такого количества радия в лучшем случае можно получить 3,36 мг полония (15 Ки). Этого количества полония было недостаточно для изготовления НЗ, но, тем не менее, такая работа была проведена, причем в условиях, очень далеких от нормальных. Из выделенного полония были изготовлены экспериментальные нейтронные источники. Руководителем работы были З.В. Ершова, Д.М. Зив и В.Д. Никольский. Всего вместе с ними в группе работало 15 человек [1-5].

Разработка технологии получения полония из облученного висмута требовала решения большого перечня подготовительных работ — от получения металлического висмута высокой чистоты, чем занимался ГИРЕДМЕТ, до ядерно-физических расчетов и отработки режимов облучения висмута в строившихся промышленных реакторах и многих других вопросов.

25 декабря 1946 г. в лаборатории № 2 АН СССР был запущен первый в СССР и в Европе исследовательский реактор Ф-1, и уже в 1947 г. на нем наряду с облучением урана для наработки Pu-239 начали облучать блоки металлического висмута для получения полония по схеме:

$$Bi^{209}\ (n,\gamma) \rightarrow Bi^{210} - \beta \rightarrow Po^{210} - \alpha \rightarrow Pb^{206}$$

Разработка технологии выделения Po-210 из облученного висмута проводилась параллельно в Радиевом институте (Д.М. Зив, Г.С. Синицына,

Л.И. Абрамова, Н.А. Павлова, И.Д. Эфрос, Д.Н. Мясоедов и др.) и в НИИ-9 (З.В. Ершова, Г.П. Новоселов, К.Г. Швебельблит, Е.В. Гиршберг, Е.С. Ульянова, М.И. Бродская и др.).

Исследования проходили очень интенсивно и уже к концу 1947 г. были отработаны все стадии технологического процесса выделения Po-210 из облученного висмута. Технологические схемы, разработанные в РИАНе и в НИИ-9, были практически одинаковыми. Технология состояла из следующих основных операций: растворение алюминиевой оболочки блочков в щелочи, растворение висмута в азотной кислоте, спонтанное осаждение полония из раствора на металлическом порошке, растворение порошка с целью дополнительной очистки полония, повторное осаждение полония на металлическом порошке [5-7]. При разработке процесса спонтанного осаждения полония исследовались порошки различных металлов — висмута, меди, серебра, никеля. В качестве лучшего металла была выбрана медь. (Рис. 1, 2)



Рис. 1. Принципиальная схема выделения полония (электрохимический метод)

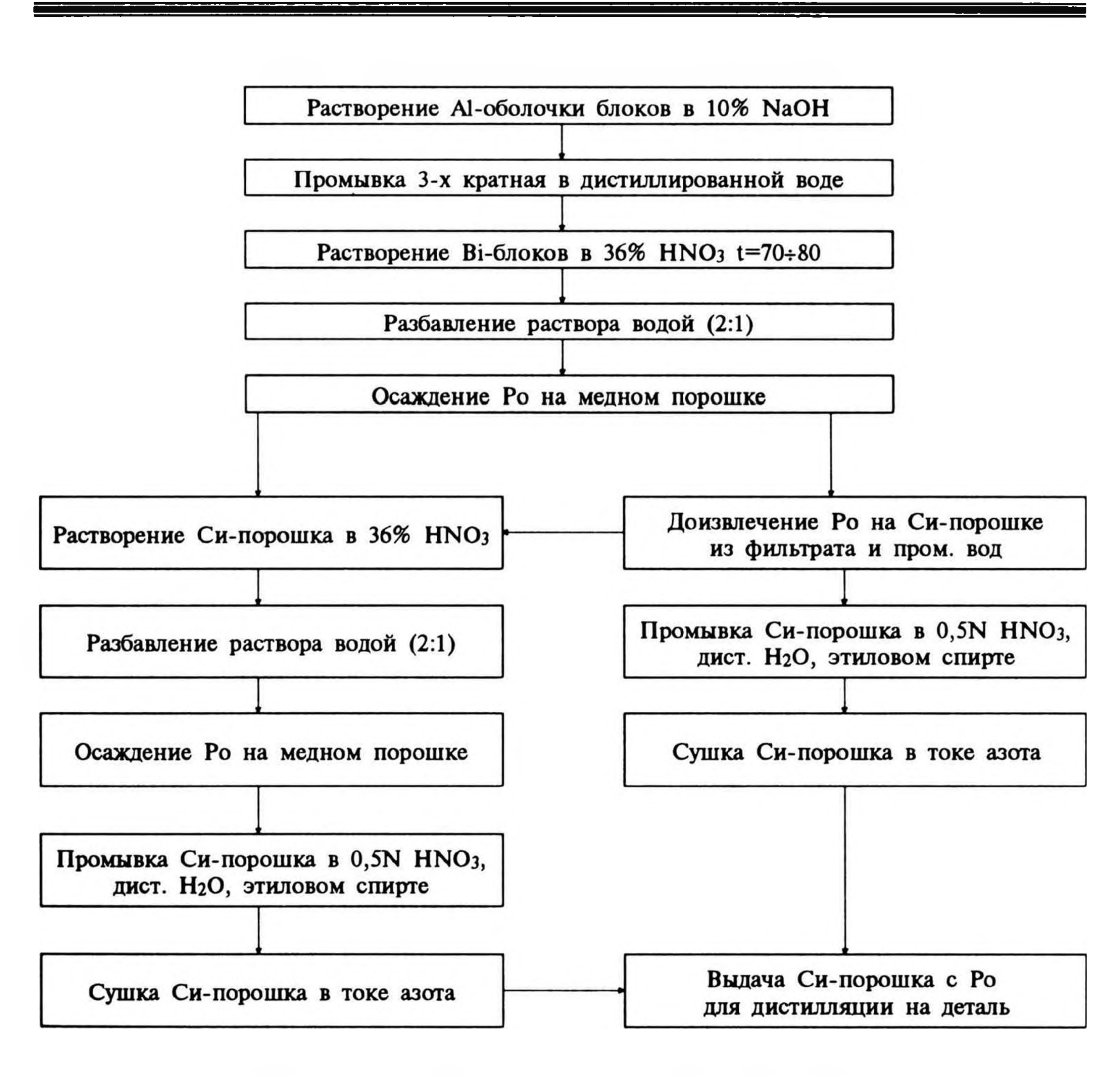


Рис. 2. Принципиальная схема выделения полония (азотнокислый метод)

В архиве РИАНа хранится документ 1948 г. за подписями В.Г. Хлопина и Д.М. Зива — "Краткие указания и технологические данные к проектированию установки для получения Б-8 (Po-210) из висмутовых блочков" [7].

К началу 1949 года в РИАНе была создана опытная установка по получению полония. На этой установке было переработано 30 блочков облученного в реакторе Ф-1 висмута и выделено 14 Ku (3 мг) полония. В этой работе наряду с сотрудниками РИАНа принимала участие группа

сотрудников КБ-11 в составе 7 человек под руководством М.А. Крамаровского.

В НИИ-9 в 1949 г. была создана и работала первая производственная установка по получению весомых количеств полония, которая обеспечила наработку необходимых количеств полония для первых нейтронных запалов. Одновременно на этой установке отрабатывалась технология и аппаратура для строящегося на заводе "Авангард" полониевого производства. На установке НИИ-9 в 1951 году проходила стажировку группа заводчан (25 молодых специалистов) [8], которые совместно с сотрудниками установки НИИ-9 в мае 1952 года пускали новое полониевое производство на заводе "Авангард".

В КБ-11 тем временем был создан специальный отдел под руководством А.Я. Апина, которому было поручено к июню 1949 г. изготовить несколько полониевых НЗ для первой советской атомной бомбы РДС-1 [1, 3]. Активное участие в изготовлении первых НЗ принимали А.Я. Апин, В.А. Александрович, В.А. Давиденко, Д.М. Зив. Четыре НЗ, имевшие несколько отличающиеся характеристики, были доставлены на Семипалатинский полигон. Из них был отобран один, имевший наилучшие характеристики.

29 августа 1949 г. было проведено первое испытание атомной бомбы РДС-1, имевшей НЗ на основе Ро-210.

Работы по советскому атомному проекту в конце 40-х годов нарастали большими темпами. 19 июня 1948 г. в Челябинске-40 на комбинате № 817 был пущен первый промышленный реактор "А" и уже в том же году на нем начали облучать висмутовые блоки, которые в дальнейшем перерабатывались на установке НИИ-9, существовавшей до 1951 г.

Результаты, полученные на установке НИИ-9, были использованы для составления технического задания на проектирование промышленного производства полония. Проект был создан ГСПИ-11 в 1950 г. и в г. Арзамасе-16 на заводе "Авангард" быстрыми темпами началось строительство комплекса производственных зданий для цеха получения полония, участков изготовления НЗ, химводоочистки, спецпрачечной, исследовательской лаборатории и других вспомогательных подразделений [2]. НИИХИММАШ (г. Москва) сконструировал и частично изготовил оборудование для этого комплекса.

К началу 1952 г. основные пуско-наладочные работы на комплексе были завершены. В мае 1952 г. на установке завода были переработаны первые два блока облученного висмута. Завод "Авангард" приступил к серийному изготовлению НЗ, а вскоре и нейтронных источников промышленного назначения.

Жидкостная технология выделения полония-210 из облученного висмута имела множество недостатков, и ее приходилось постоянно совершенствовать.

С середины 50-х годов на заводе "Авангард" осуществлена коренная реконструкция полониевого производства с использованием трехзональной планировки. Основой реконструкции стало совершенствование технологии, внедрение дистанционной аппаратуры, повышение общей культуры и уровня

организации производства. Широкий комплекс мер позволил резко снизить степень радиоактивной загрязненности на всех операциях до 20 раз. С применением средств аэрозольной защиты и надежного оборудования загрязненность воздуха в рабочих помещениях снизилась в 80 раз. Этими работами руководил И.М. Горский при активном участии М.А. Григорьева, Г.И. Антонова, В.П. Фомичева, А.В. Смирнова, А.С. Абакумова, Е.А. Мергасова, Ю.М. Дуки, В.Р. Саморукова, Н.А. Смирнова, Н.Я. Скрипки и др. [8].

Принятая реконструкция и совершенствование производства полония, однако, не могли коренным образом улучшить экологическую ситуацию, и ученые начали разрабатывать принципиально новую "сухую" технологию выделения полония из облученного висмута.

В РИАНе под руководством Д.М. Зива (С.А. Фаддеев, Г.С. Синицин, П.Н. Москалев, В.Н. Тетерин, В.В. Федоров и др.) проводилась разработка процесса дистилляционного выделения Ро-210 из облученной окиси висмута. Этот процесс не нашел практического использования.

В ВНИИНМ под руководством З.В. Ершовой разрабатывалась вакуумная технология возвратно-поточной дистилляции полония из облученного висмута и процесс дробной конденсации полония из полониево-висмутового концентрата (Б.В. Петров, Ю.Г. Клабуков, В.С. Купцов, И.Д. Кузнецова, М.И. Бродская, В.В. Шипилов, Б.С. Аксенов, В.Д. Новиков и др.). Одновременно с этим проводилась работа по синтезу интерметаллических соединений полония — полонидов металлов для концентрирования полония в малом объеме (Л.Н. Новиков, Е.С. Прокин, А.С. Абакумов, М.М. Малышев, А.Д. Хохлов и др.) и работа по подбору конструкционных материалов для технологической аппаратуры и оболочек тепловых ампул (А.С. Абакумов, А.Д. Хохлов, Н.Ф. Резникова, В.С. Зверев, Л.П. Гайдукова, В.Д. Бородич, В.С. Демидова и др.) [4].

Проектирование нового производства полония осуществлял ГСПИ-11 (А.Б. Драновский, Г.И. Антонова и др.), а аппаратуру для него — московский НИИХИММАШ (И.В. Ильгисонис, А.А. Карякин и др.) и ОКБ "Заря" (И.М. Горский, А.Г. Волгин, Л.Е. Португал и др.).

В 1968 году на заводе "Авангард" была внедрена новая технология выделения полония-210 из облученного висмута, разработанная во ВНИИНМ при активном участии завода [4]. Эта технология позволила производить граммовые количества полония-210 и использовать полоний для изготовления радионуклидных тепловых блоков. Эти изделия были запущены в космос на спутниках "Космос-84" и "Космос-90" и на самоходных станциях "Луноход-1 и -2" на Луну.

Использование полония для ядерных бомб было прекращено к началу 60-х годов.

В заключение хотелось бы назвать всех руководителей полониевого производства на заводе "Авангард" в том временном порядке, по которому они занимали эту должность: А.Д. Суворов, А.И. Назаров, И.М. Горский,

В.П. Фомичев и Г.И. Антонов. Активное участие и заметный вклад в становление и развитие полониевого производства внесли следующие сотрудники завода "Авангард": Н.Г. Кочерыгин, И.С. Кирин, Б.С. Павлов-Веревкин, А.И. Павлова-Веревкина, В.И. Пешков, З.И. Пешкова, Н.П. Чикина, О.П. Кулакова и др.

Полоний является одним из наиболее токсичных радионуклидов. Работа с ним сопряжена с очень большой опасностью, связанной с возможным выбросом его в воздух рабочего помещения и с последующим попаданием его в организм человека через дыхательные пути. На начальном этапе существования производства несовершенство технологии и большое количество ручных операций приводили к токсикации и нейтронному облучению персонала. Многие сотрудники полониевого производства потеряли здоровье, некоторые стали инвалидами, некоторые преждевременно умерли. Долг чести ныне живущих участников полониевой эпопеи вспомнить о них, что мы и сделали в настоящем докладе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **А.К. Круглов.** Как создавалась атомная промышленность СССР. М.: ЦНИИатоминформ. 1994. С. 147-151.

2. **Ю.К. Завалишин.** В книге В. Губарева — Ядерный век. Бомба. М.: 1995. С. 203.

3. **В.Н. Михайлов, Е.А. Негин, Г.А. Цырков.** Создание первой советской ядерной бомбы. М.: Энергоатомиздат. 1995. С. 219

4. **Ф.П. Теплов, В.Н. Конев, А.С. Абакумов.** В книге "ВНИИНМ-50 лет". М.: 1995. С. 136-138.

5. **З.В. Ершова.** В книге "Страницы истории ВНИИНМ: воспоминания сотрудников". М.: ЦНИИатоминформ. 1993. Вып. 1. С. 80-87.

6. "Отделение полония от больших количеств висмута". Фонд РИАНа. Арх. N 1-1/с — Т-23. 1947.

7. "Краткие указания и технологические данные к проектированию установки для получения Б-8 из висмутовых блоков". Фонд РИАНа. Арх. N1-1/с. Т-38. 1948.

8. **Ю.К. Завалишин.** "Объект 551". Саранск 1996. с. 132-136.

СТАНОВЛЕНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВО ВНИИХТ

Д.И. Скороваров, В.В. Шаталов

ВНИИХТ основан в 1951 г. для решения проблем гидрометаллургической переработки сырья и получения чистых соединений U, Be, Li, Th, Zr, F и др. для изготовления специальных и конструкционных материалов для ядерной, аэрокосмической и военной промышленности. По технологиям, разработанным во ВНИИХТе, созданы комплексные крупномасштабные перерабатывающие заводы, оснащенные уникальным высокопроизводительным оборудованием.

Опыт урановой промышленности использован в других отраслях для получения золота и серебра, металлов платиновой группы, ВТСП-материалов, веществ высокой и сверхвысокой чистоты для микроэлектроники, лазеров и волоконно-оптической техники, новых керамических материалов и веществ для очистки промышленных вод и пищевых продуктов.

ВНИИХТ (первоначально — НИИ-10) организован в апреле 1951 г. в соответствии с постановлением Совета Министров СССР. Его создание связано с развитием атомной энергетики в Советском Союзе и странах Восточной Европы. В период организации и становления во ВНИИХТ из НИИ-9, Гиредмета, НИИ-26 и других организаций были направлены опытные специалисты и молодежь — выпускники высших и средних учебных заведений страны. Этот союз дал замечательный эффект и с первых лет работы вывел институт в число ведущих научных организаций.

После окончания Второй Мировой войны появилась потребность в больших количествах урана, тория, бериллия и лития высокой чистоты для нужд ядерной техники и необходимость быстрого развертывания их производства из отечественного сырья и руд стран СЭВ.

При организации НИИ-10 основной задачей были исследования в области сырья для атомной промышленности, его обогащения и разработка методов переработки урановых руд. Поэтому первоначально были созданы геологическая, обогатительная и аналитическая лаборатории и технологический отдел (в составе трех лабораторий). Директором института был назначен прекрасный организатор П.И. Бучихин.

В 1952-53 гг. в институт была передана группа сотрудников НИИ-26 Министерства химической промышленности, проводившая там работы по извлечению урана из природных вод и производственных растворов, на базе которой в последующем по инициативе Б.Н. Ласкорина и под его руководством была создана лаборатория сорбционных процессов.

В 1954 г. была создана большая часть ныне существующих лабораторий. Тематика НИИ-10 охватывает разведку и изучение уранового сырья, обогащение урановых руд, технологию переработки урана до закиси-окиси и технологию получения бериллия высокой чистоты.

С годами объемы работ института расширяются. В 1956 г. организуется отдел редких металлов, лаборатория гексафторида урана, в 1960 г. — лаборатория металлургии урана и бериллия, группа стандартизации, в 1961 г. — лаборатория коррозии и др. С 1957 г. институт возглавил А.П. Зефиров.

В 1962 г. организуется лаборатория разработки методов очистки сбросных вод технологических предприятий. Впоследствии эта лаборатория в основном переходит к решению принципиально новых технологических методов подземного выщелачивания урановых руд.

В 1965 г. радиохимическая тематика выделяется в специально оборудованную для "горячих" процессов лабораторию. С 1 января 1967 г. институту присвоено наименование Всесоюзного научно-исследовательского института химической технологии. Специфику химико-технологических схем переработки урановых руд до ядерного горючего определяют состав и свойства сырья. Для урановых руд характерна большая рассеянность. В большинстве руд содержание урана колеблется в пределах десятых и сотых долей процента. Химико-технологические схемы переработки уранового сырья разрабатываются с учетом состава и свойств исходного сырья, формы соединений урана и требуемой степени чистоты горючего.

Урановые заводы относятся к добывающей и перерабатывающей отрасли атомной промышленности. Они характеризуются масштабностью переработки сырья и большой капиталоемкостью. В связи с этим повышение эффективности их деятельности постоянно оставалось актуальной задачей ВНИИХТ. Основными направлениями решения этих проблем являются комплексная переработка руд, экономное расходование сырья, материалов, энергоресурсов, использование и утилизация отходов, охрана окружающей среды. Главными задачами ВНИИХТ является создание малоотходных, бессточных произ-

водств, минимально воздействующих на окружающую природу и человека, и внедрение этих разработок в промышленность.

За 45 лет своей работы сотрудники ВНИИХТ с честью выполнили сложные и разнообразные задачи, которые были поставлены перед институтом — все урановые заводы бывшего СССР и стран СЭВ пускались или реконструировались по нашим разработкам и при нашем участии. Группы специалистов после проведения исследований в лабораториях, а затем на опытном заводе ВНИИХТ выезжали на завод, где, работая круглосуточно в смену, внедряли в производство свои передовые уникальные технологии, давшие стране колоссальный экономический эффект.

В самом начале работ по советскому атомному проекту была налажена добыча уже известных урановых руд и одновременно организованы поисковые и разведочные работы по изысканию новых месторождений. В результате интенсивных работ, начатых в геологическом отделе, в различных районах страны были выявлены месторождения урана, на базе которых построены заводы по переработке урановых руд.

Научно-исследовательские разработки геологического отдела основываются на комплексном изучении геолого-структурных геофизических и минералого-геохимических особенностях рудных полей и месторождений и проводятся с использованием современных методов и оборудования.

В составе отдела работают высококвалифицированные специалисты в области прогнозирования, изучения структур рудных полей и месторождений, общей, генетической и технологической минералогий, структурной и прикладной геофизики, использования математических методов и геостатики для решения задач геолого-геофизического обслуживания разведочных и эксплуатационных работ. В распоряжении отдела имеется лабораторная база, оборудование которой позволяет решать на современном уровне практически все задачи, связанные с изучением свойств горных пород, руд и отдельных материалов.

К 1970 г. за 20 лет работы Геологического отдела изучен вещественный состав 22500 проб руды из 150 месторождений урана.

В 1955 г. геологи ВНИИХТ создали систематическую коллекцию урановых руд для выставки в Женеве.

В 1956 г. открыт геолого-минералогический музей.

Крупные металлогенические и рудно-геологические исследования проводились в СССР и за пределами нашей страны: в Средней Азии (1955-1963 гг.), в Северном и Южном Казахстане (с 1962 г.), на Украине (с 1952 г.), в ГДР (с 1956 г.), ЧССР (с 1964 г.), Румынии (с 1956 по 1965 гг.). Отдельные группы сотрудников проводили исследования в Болгарии, Венгрии, Албании, Китае и КНДР.

Совместно с другими предприятиями отрасли разработан и широко внедрен в промышленность наиболее дешевый, безопасный и экологически чистый способ добычи урана — скважинное подземное выщелачивание

(ПВ), которым в настоящее время добывается значительное количество урана от его общего производства в СНГ.

Этим способом отрабатываются бедные руды (с содержанием урана 0,03-0,05%) урановых месторождений, залегающие в рыхлых, или слабометаморфизованных растворопроницаемых (с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 10-15 и более м/сут.) песчано-глинистых обводненных отложениях.

Разработка таких месторождений другими способами экономически нецелесообразна и технически затруднена из-за сложных горно-геологических и гидрогеологических условий. ПВ, по существу, безотходное производство, работающее в замкнутом гидродинамическом цикле без нарушения естественного залегания рудных тел.

В отличие от подземных и открытых горных работ, при ПВ не образуются громадные отвалы пород и обширные хвостохранилища, не происходит осушения водоносных горизонтов на огромных площадях, нет шахтных и сбросных вод гидрометаллургических заводов, загрязняющих поверхность, атмосферу и источники водоснабжения.

В области рудоподготовки и обогащения решаются научно-технические проблемы и практические задачи, связанные с исследованием, разработкой и внедрением технологических схем рудоподготовки, обогащения радиоактивных, редких и благородных металлов, горно-химического сырья и отходов различных производств. Сначала детально изучаются геолого-минералогические особенности сырья, физико-механические и физико-химические свойства, в лабораторных условиях разрабатывается рациональная схема обогащения. На втором этапе проводятся укрупненные полупромышленные испытания всей технологической схемы с отработкой основных параметров процесса и уточнением конечных показателей. Институтом разработана и внедрена современная аппаратура по процессам:

- рудоподготовки;
- флотации;
- магнитной сепарации;
- обезвоживания.

Для отработки маломощных труднодоступных месторождений с минимальными капитальными затратами ведется создание передвижных модульных обогатительных установок.

Институтом проведена разработка процессов выщелачивания ценных компонентов из руд, концентратов, промпродуктов и других видов сырья в аппаратах, работающих при атмосферном давлении, и в автоклавах при высоких температурах и давлениях.

Разработаны современные комплексные схемы:

- выщелачивание урана из алюмосиликатных руд растворами серной кислоты при атмосферном давлении;

- автоклавное выщелачивание урана и молибдена из комплексных алюмосиликатных урано-молибденовых руд растворами серной кислоты с использованием в качестве окислителя воздуха или кислорода;
- автоклавное сернокислотное выщелачивание урана из упорных алюмосиликатных руд;
- содовое автоклавное выщелачивание урана и молибдена из карбонатных урановых и урано-молибденовых руд;
- выщелачивание урана и ванадия из комплексных урано-ванадиевых руд растворами серной кислоты при атмосферном давлении в автоклавах;
- выщелачивание молибдена и рения из сульфидных молибденовых концентратов растворами азотной кислоты и смесями серной и азотной кислот при атмосферном давлении в автоклавах с использованием в качестве окислителя воздуха или кислорода;
- автоклавное выщелачивание вольфрама из концентратов растворами соды, щелочи, кислот и других реагентов;
- выщелачивание золота и серебра из руд, концентратов, промпродуктов растворами цианидов, тиомочевины, хлоридными солевыми растворами;
- другие процессы выщелачивания цветных и редких металлов различными реагентами в аппаратах, работающих при атмосферном давлении и в автоклавах.

Характерной особенностью современной технологии является вовлечение в переработку бедных, комплексных, труднообогатимых руд. Наиболее эффективно переработка таких руд осуществляется по комбинированным обогатительно-гидрометаллургическим технологиям с получением бедных некондиционных концентратов и их гидрометаллургической переработкой. Это обеспечивает значительное повышение извлечения ценных компонентов, комплексность использования сырья, выдачу высококачественной готовой продукции, экологическую чистоту.

Гидрометаллургические методы находят все более широкое применение для извлечения попутных компонентов и удаления мешающих примесей из концентратов и рудного сырья.

Разработаны и внедрены на предприятиях:

- очистка флюоритового концентрата от примесей диоксида кремния, фосфора, серы путем выщелачивания их соответствующими реагентами;
- очистка и дезактивация оловянных концентратов;
- выщелачивание редкоземельных элементов из лопаритового концентрата;
- выщелачивание марганца из железных концентратов и других марганецсодержащих продуктов.

Институтом в содружестве с московским НИИхиммашем накоплен богатый опыт разработки и внедрения высокоэффективного промышленного автоклавного оборудования.

Необходимо отметить, что применение повышенных температур и давлений, наряду с наиболее дешевым окислителем — кислородом воздуха, позволяет организовать рентабельную переработку бедного и упорного сырья и достичь высокого извлечения урана при сокращении расхода реагентов и энергетических затрат.

Наибольшее распространение получил процесс автоклавного выщелачивания урана растворами карбоната натрия под давлением кислорода воздуха. В настоящее время автоклавы вытесняют пачуки для карбонатного выщелачивания урановых и комплексных урано-молибденовых руд. В США работают 4 завода производительностью от 400 до 3500 т руды в сутки. В СНГ также действуют урановые заводы, которые по уровню оснащения автоклавным оборудованием не уступают американским (внедрены и работают много лет 123 $м^3$ автоклавы).

Применение процессов кислотного автоклавного выщелачивания, хотя и связано с рядом трудностей в аппаратурном оформлении, сулит еще большие выгоды. Из различных вариантов этого процесса наиболее экономически выигрышным является "автогенное" выщелачивание урана из сульфидсодержащего сырья с использованием в качестве окислителя технического кислорода.

В отечественной практике получили распространение автоклавы двух типов: горизонтальные четырехкамерные с механическими перемешивающими устройствами и в последнее время — вертикальные с пневматическим перемешиванием пульпы. В качестве конструкционных материалов широко используют легированные стали и технический титан.

Многолетняя эксплуатация автоклавов в производстве показала, что экономический эффект от их применения для окислительного выщелачивания урановых руд позволяет полностью окупить затраты на оборудование за 1-2 года.

Напряженная работа проведена в области получения удобрений. Совместно с предприятиями отрасли во ВНИИХТ проведены комплексные испытания по переработке фосфатных руд. Проведены исследования и полупромышленные испытания по получению технических, кормовых и пищевой чистоты фосфатов, а также высококачественных комплексных удобрений. Разработаны и внедрены в производство различные фосфоразотсодержащие комплексные удобрения. Все эти виды удобрений находятся на уровне международных стандартов, а некоторые из них по сумме питательных веществ выше мировых стандартов.

В институте проведены физико-химические исследования различных ионитов и созданы фундаментальные основы ионообменной технологии для сорбционной переработки растворов и пульп, сорбционного выщелачивания, экстракционной десорбции, твердофазной регенерации, десорбционного концентрирования.

Основное внимание уделялось разработке и внедрению процесса сорбции из пульп, который позволил снизить энергозатраты в 2 раза, повысить производительность в 3-4 раза, сократить расход фильтровальных тканей на многие миллионы квадратных метров, высвободить для использования в других производствах сотни тысяч тонн минеральных кислот и щелочей, химических материалов, в несколько раз увеличить мощности гидрометаллургических предприятий.

Процесс сорбции из пульп открыл доступ к эффективному извлечению малых количеств ценных компонентов, облегчил реализацию комплексного использования бедного минерального сырья и послужил основой для пересмотра кондиций на добываемые руды. За счет снижения бортового содержания на ряде месторождений удалось реально увеличить используемые геологические запасы. Сорбенты широко используют для разработки технологических схем комплексной высокорентабельной переработки золото-, серебро-, молибден-, рений-, вольфрам- , скандий-, олово-, ванадий-, тантал-, ниобий-, медь-, кобальт-, железо-, цирконий- , гафний-, марганец-содержащего сырья, а также продуктивных растворов кучного и подземного выщелачивания, бедных продуктов обогащения минерального сырья, твердых отходов гидрометаллургических заводов (красные шламы, молибденовые кеки и пр.)

Разрабатываются новые сорбционные процессы с интенсивными параметрами для извлечения и очистки: урана и естественных радионуклидов, тугоплавких цветных металлов (молибдена, вольфрама, рения, циркония, гафния, ванадия, тантала, ниобия), редкоземельных элементов и скандия, легких цветных металлов (алюминия, галлия, лития, цезия, рубидия), а также: сахарных сиропов, антибиотиков и культуральных сред, комплексной переработки растительного и молочного сырья, разделения близких по свойствам элементов типа циркония и гафния, тантала и ниобия.

Проведены целенаправленные исследования по созданию ионообменных смол и экстрагентов для процессов гидрометаллургии.

Необходимость постановки этих работ была обусловлена отсутствием в Советском Союзе ионитов, отвечавших специфическим требованиям гидрометаллургического производства.

Важное место занимали фундаментальные исследования взаимосвязи структуры и свойств ионитов. Использованы современные физико-химические методы: ртутная парометрия, ИКС, ЯМР, сканирующая электронная микроскопия, газовая хроматография, лазерная модификация.

Результаты фундаментальных исследований привели к внедрению в промышленное производство катионита СГ-1М многоцелевого назначения, высокоэффективных анионитов АМ, АМП гелевого типа и АМ-п, АМП-п, ВП-1Ап пористого типа для пульповых процессов; впервые в мире — макропористого анионита АМ-2Б для сорбции золота, винилпиридиновых амфолитов ВП-14К и ВП-14КР для сорбции вольфрама и рения, АФИ для

комплексного извлечения урана, рения, скандия из растворов подземного выщелачивания, аминокарбоксильных амфолитов АМК и ВПК; ионитов для пищевой и фармакологической промышленности и ядерной чистоты.

В институте имеется опытная установка, на которой отрабатывается технология синтеза новых ионитов, изготавливаются укрупненные партии смол для ресурсных испытаний.

Богатый опыт накоплен в области промышленного применения экстракционных процессов. Проведены фундаментальные исследования по развитию теоретических основ экстракционных процессов для извлечения и разделения металлов. Разработаны процессы экстракционного выделения радиоактивных, редких, цветных и др. металлов из водных растворов и пульп и разделения близких по свойствам элементов для промышленного использования.

Прикладные работы направлены на:

- создание экологически чистой экстракционной технологии комплексной переработки урановых рудных растворов и пульп с попутным извлечением ценных компонентов, утилизацией радионуклидов и получением чистых соединений металлов;

- разработку экстракционной технологии комплексной переработки ураноносных фосфоритов с извлечением урана, РЗЭ и с очисткой фосфорных удобрений от радионуклидов; получение чистой фосфорной кислоты, технических солей и кормовых добавок;

- создание экстракционной технологии переработки разбавленных растворов подземного выщелачивания на основе импрегнированных носителей и мембранной технологии;

- разработку технологии извлечения меди, никеля, кобальта, скандия, рения из растворов выщелачивания руд и концентратов;

- разработку экстракционной технологии извлечения и разделения тантала и ниобия.

Выполнен большой объем исследований и практических испытаний новых видов ионообменного и экстракционного оборудования.

Разработаны и внедрены в производство конструкции смесительно-отстойных экстракторов с механическим перемешиванием фаз производительностью 0,001-40,0 $м^3$/ч, которые находят широкое применение в различных процессах жидкостной экстракции ценных компонентов.

Основой процесса переработки руд благородных металлов является сорбционно-бесфильтрационный передел, который, в зависимости от характера перерабатываемых руд, может быть дополнен различными операциями, в том числе операциями гравитационного обогащения, флотации, обжига, автоклавной обработки и др. В качестве сорбента используется высокопрочный синтетический анионит АМ-2В.

Преимуществами технологии являются:

- высокая эффективность переработки бедных руд (с содержанием золота около 1,5 г/т), что значительно расширяет сырьевую базу;

- возможность вовлечения в переработку отвалов;

- исключение дорогостоящих энергоемких технологических операций;

- простота аппаратурного оформления;

- возможность проведения процесса в плотных пульпах в оборудовании большой единичной мощности;

- возможность комплексной переработки золотосодержащих руд с попутным извлечением серебра и ряда других элементов (Мо и др.).

Регенерация анионита проводится при низких температурах (20-500 ^{0}С). Анионит после регенерации непосредственно возвращается в технологический процесс, не требуя реактивации. Выделение из элюата золотосодержащего продукта и его аффинаж позволяют получать золото и попутно серебро с чистотой 99,99% каждого.

Разработанная уникальная схема внедрена и более 25 лет применяется на крупнейшем в мире золотоизвлекающем предприятии Зерафшан (Узбекистан) и меньшие сроки на 10 заводах бывшего СССР. Перерабатываются золотосодержащие руды различного состава. Производительность заводов от 100 тыс. т до более 10 млн. т руды в год.

Проведен значительный объем исследований по очистке шахтных вод урановых рудников от взвешенных веществ, естественных радионуклидов и минеральных солей. Полученные результаты обобщены и проанализированы с целью разработки отдельных типовых операций или узлов очистки. Разработаны типовые схемы очистки шахтных вод. Твердые отходы гидрометаллургических заводов, обогатительных фабрик, сернокислотного производства составляют основную массу всех твердых отходов отрасли. Основные отходы гидрометаллургических заводов — хвосты переработки урансодержащих руд и концентратов, фосфогипс от переработки апатита, мел конверсии фосфогипса, хвосты цианирования золотоперерабатывающего завода. Отходы от переработки урансодержащих руд и концентратов являются наиболее серьезным фактором загрязнения окружающей среды. Под складирование отходов занята значительная площадь земель.

В содружестве с заводами проведены работы по использованию фосфогипса как химического мелиоранта солонцовых почв (в Степногорске), реализовано опытно-промышленное производство строительных материалов из фосфогипса (в Шевченко и Лермонтове). Головной отдел охраны окружающей среды был организован в 1975 году.

Проведен большой объем работ по созданию и внедрению отраслевых руководящих, нормативных и научно-методических материалов по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов на предприятиях отрасли.

В течение 1983-85 гг. все рудоперерабатывающие предприятия по "Программе создания норм и нормативов охраны окружающей среды в отрасли"

разработали и утвердили индивидуальные нормы и нормативы водопотребления и водоотведения, нормы предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных химических и радиоактивных веществ в водные объекты, начали пересмотр норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) загрязняющих веществ в атмосферу.

Работы, выполненные во ВНИИХТ, показали, что значительным резервом потребления свежей воды на перерабатывающих урановых заводах СНГ является использование шахтных вод, доочищаемых хозяйственно-бытовых вод и сокращение производственных и прочих потерь воды. Нормирование водопотребления также выявило резервы сокращения расхода свежей воды на 20 млн. $м^3$.

Впервые в отрасли разработана и реализуется "Программа комплексной стандартизации в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов". В рамках этой программы разработано и утверждено 23 отраслевых стандарта и введено приказом 43 государственных стандарта. Разработка и внедрение отраслевых стандартов, полный учет их требований позволят более полно использовать шахтные воды и твердые отходы урановых рудников, выполнить более качественно рекультивацию земель, уменьшить загрязнение окружающей среды сбросами и выбросами предприятий.

В настоящее время наша отрасль выпускает более половины (по валу) всех РЗЭ в СНГ. Производство редкоземельной продукции получило широкое развитие в связи с тем, что заводы отрасли перерабатывают отдельные виды комплексного сырья, содержащего РЗЭ — урансодержащие фосфориты и лопариты. Разработанная технология направлена на извлечение максимального количества всех ценных компонентов. Основную долю конечной продукции составляют неразделенные природные смеси РЗЭ для нефтехимии, металлургии, производства стекла и керамики.

В мире отмечается тенденция быстрого, на 20-30% в год, роста потребления соединений индивидуальных элементов, главным образом иттрия, самария, неодима, тербия и европия. В СНГ намечается та же тенденция. Указанные элементы используют для изготовления наиболее ценных наукоемких изделий — люминофоров, постоянных магнитов, пигментов и т.д. Очевидно, ввиду конверсии отрасли необходимо не просто расширить производство РЗЭ, но, главным образом, направить усилия на крупный промышленный выпуск этих изделий.

При рассмотрении перспектив развития производства РЗЭ необходимо обратить внимание на рациональное размещение их в различных регионах страны, в том числе и в Сибири.

Проводятся исследования новой и совершенствование существующей технологии и аппаратов для получения неорганических фторидов ядерной чистоты.

Имея большой научный и производственный опыт в области синтеза хладонов, Минатом России с 1988 г. проводил интенсивные фундаментальные

исследования по синтезу озонобезопасных веществ. Основным направлением работ было использование в качестве фторирующего агента отвального гексафторида урана.

Интерес к возможности использования гексафторида урана, обедненного по урану-235, как фторирующего агента, возник еще в 80-е годы. Это можно объяснить накоплением в странах, производящих ядерное оружие и топливо, значительного количества обедненного гексафторида. UF_6 является химически активным соединением и представляет значительную экологическую опасность. Он связывает большое количество фтора, что не выгодно экономически. В качестве фторирующего агента для органических веществ гексафторид урана имеет ряд достоинств, в том числе способность не взрываться при реагировании, ковалентную природу, позволяющую проводить реакции в неводной среде и апротонных растворителях.

На ряде комбинатов Сибирского региона накоплены огромные запасы обедненного гексафторида, которые хранятся в стальных емкостях и представляют собой большую экологическую опасность.

Исследования, проведенные во ВНИИХТе, показали, что переработка гексафторида в экологически безопасную форму (тетрафторид или закись-окись) с одновременным получением озонобезопасных хладонов позволяет успешно решить двойную экологическую проблему и получить значительный экономический эффект.

Многолетний опыт работы с крупнотоннажным производством гексафторида урана, фтористого водорода, элементарного фтора, а также различных органических производных фтора позволил ВНИИХТ решить сложную задачу получения озонобезопасных хладонов с помощью гексафторида урана. Так полностью отработана технология получения хладона Х134а с выходом целевого продукта больше 75%.

Первая промышленная установка с газовыми ультрацентрифугами для разделения изотопов урана в России была запущена в 1959 г., значительно раньше, чем в США (1976 г.) и Японии (1979 г.).

В связи с конверсией было предложено использовать газовые центрифуги для глубокой очистки газообразных веществ в микроэлектронике.

Большой опыт обращения с соединениями фтора был использован при решении задач получения чистых металлов.

В 1991 г. ВНИИХТ получил патент на фторидную технологию глубокой очистки галлия. Технология обеспечивает получение галлия 99,9999-99,99999, причем на 20-30% дешевле, чем по традиционным технологиям. Заканчивается монтаж полупромышленной установки на 200 кг в год.

Во ВНИИХТ и Радиевом институте ведется разработка технологии получения кремния солнечного качества из отходов и полупродуктов атомной промышленности и производства удобрений — кремнефторида натрия.

Опыт работы по сорбционной очистке урана позволил разработать способ очистки и сохранения степени чистоты кислот (серной и азотной), которые используются в микроэлектронике.

Разработана экологически безопасная технология производства высокотоксичных газов (арсина, фосфина, моногермана и др.), которые необходимы для микроэлектроники и солнечной энергетики. Их производство в больших количествах на специализированных предприятиях, транспортировка и хранение представляют высокую опасность для жизни и здоровья персонала и населения.

Проблема снижения этой опасности неоднократно обсуждалась на различных конференциях по микроэлектронике, в частности, на 17-м Международном симпозиуме по арсениду галлия в 1990 г., на 3-м Международном симпозиуме "Тонкая химия для микроэлектроники" в 1990 г. и на 4-й Международной конференции по экологии и безопасности в 1994 г. В настоящее время наметились два пути решения проблемы: создание менее токсичных соединений или генерация токсичных газов в месте их потребления. Нами предложены метод и установка, реализующая второе направление. Предложенный метод и устройство обеспечивают получение арсина с содержанием основного вещества 99,999%. Количество арсина или фосфина, единовременно, находящегося в установке, составляет 0,1-1 г. В настоящее время остро стоит вопрос о трансмутации малых актинидов (кюрий, америций, калифорний и т.п.) и утилизации продуктов распада. С целью их утилизации в США, Японии, России и ряде других стран разрабатывается проект создания реактора на расплавленных солях (PuF_3, BeF_2, LiF), который позволит использовать указанные материалы для их переработки в стабильные и короткоживущие изотопы, а также использовать из снятых с вооружения ядерных боеголовок оружейный плутоний в качестве тепловыделяющего элемента.

Успехи в области разработки основной технологии позволили в короткие сроки освоить извлечение металлов платиновой группы из самого разнообразного сырья, где они содержатся в микроколичествах.

В связи с конверсией проведены исследования и разработана технология получения ВТСП порошков и керамики на основе различных составов. Технология основана на гомогенизации исходных компонентов в конденсированной фазе и керамической технологии. Совместно с ИФ ПАН (Польша) разработаны научные основы технологии получения новых типов монокристаллических и поликристаллических подложек для нанесения ВТСП пленок различными методами. Пленки на подложках в виде керамики или монокристаллов могут найти широкое применение в СВЧ-технике.

Большое значение придается сотрудничеству с зарубежными странами. По технологическим разработкам института построен и пущен в эксплуатацию *ряд крупных заводов в странах Восточной Европы и в Китае*.

За годы перестройки и конверсии промышленности значительно расширились связи и деловые контакты с экономически развитыми странами.

Институтом разработана передовая технология сорбционно-бесфильтрационного извлечения золота из руд на специальных анионитах вместо используемого на Западе, в Африке и Азии активированного угля, а также технология автоклавного вскрытия упорных руд. Кроме того, разработана современная конкурентоспособная технология переработки руд и концент-

ратов молибдена и вольфрама. Большой интерес с экономической и экологической точки зрения представляет предлагаемый институтом экстракционный метод извлечения урана и тория из фосфоритов в процессе получения удобрений.

В настоящее время тематика ВНИИХТ включает все этапы рациональной комплексной переработки радиоактивных, редких и рассеянных элементов, цветных и благородных металлов, начиная от разведки запасов руд, определения характера минерализации, получения рудных концентратов из бедного сырья и гидрометаллургической переработки до получения чистых соединений в виде оксидов, фторидов или металлов. Изучаются, разрабатываются и используются такие передовые методы, как автоклавное выщелачивание, сорбция из растворов и пульп, экстракция, мембранные процессы, плазменные методы. Одновременно решаются вопросы комплексного использования сырья, получения удобрений, аналитического контроля и автоматизации процессов, охраны окружающей среды.

Многообразие природоохранных задач постоянно ставит перед институтом жесткие требования к технологии переработки рудного сырья. Основной путь решения этих проблем — комплексная переработка руд, снижение норм расхода реагентов, материалов, энергоресурсов, использование и утилизация отходов, разработка и создание малоотходных и ресурсосберегающих технологий, что обеспечивает рациональное использование природных ресурсов и снижает воздействие негативных факторов на природу и человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометаллургическая переработка уранового сырья. Под ред. Д.И. Скороварова. М. Атомиздат, 1979.

2. **Галкин Н.П., Судариков Б.Н., Верятин У.Д., Шишков Ю.Д., Майоров А.А.** Технология урана М., Атомиздат, 1964.

3. **Ковда Г.А., Ласкорин Б.Н., Невский Б.В.** Технология переработки урановых руд //Советская атомная наука и техника. М., Атомиздат, 1967.

4. **Скороваров Д.И., Ласкорин Б.Н., Иванов Г.Ф. и др.** Переработка бедных урановых руд в СССР// Uranium ore processing, Vienna, 1976. P. 141-153.

5. **Ласкорин Б.Н., Мамилов В.А., Корейшо Ю.А., Скороваров Д.И., Водолазов Л.И., Смирнов И.П., Кедровский О.Л., Шулика В.П., Невский Б.В., Мосинец В.Н.** Добыча и переработка урановых руд в СССР //Nuclear power experience, Vienna, 1983, V. 3. P. 437-449.

6. Ионообменные материалы для процессов гидрометаллургии, очистки сточных вод и водоподготовки: Каталог /Под ред. Б.Н. Ласкорина. М. ЦНИИатоминформ, 1989.

7. **Шаталов В.В., Ласкорин Б.Н.** Химия естественных радионуклидов и вопросы защиты окружающей среды //Химия урана. М., Наука, 1989, с.17-24.

8. Проблемы материаловедения и очистки сред в программах конверсии Минатома России. Доклады. Предложения. М., Минатом, 199 .

9. Проспект ВНИИХТ, 1991.

10. Проспект ВНИИХТ, 1996.

СЕКЦИЯ 4
ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ

Ведущие — В.Б. Адамский, Г.А. Гончаров

Ученые секретари — О.Я. Зельдович, Ю.С. Замятнин

РОЖДЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ В СССР И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ В ИЗУЧЕНИИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Н.Г. Макеев

Посвящается В.А. Цукерману

Возможность получения интенсивных рентгеновских вспышек длительностью в одну микросекунду при разряде конденсатора через специальную рентгеновскую трубку с ртутным катодом впервые была показана Кингдоном и Танисом [1] в 1938 году.

Первые опыты с аналогичными импульсными трубками по рентгенографированию быстропротекающих процессов с экспозициями в миллионные доли секунды и менее были осуществлены известным немецким ученым, специалистом в области газового разряда М. Штеенбеком [2]. В 1938 г. он впервые получил рентгеновские снимки пули в свободном полете, а также зарегистрировал детали пробоя малокалиберной свинцовой пулей брусков из дерева.



В.А. Цукерман

В предвоенные годы и во время Второй Мировой войны появилось еще несколько работ, связанных с совершенствованием техники импульсного рентгенографирования динамических процессов с микросекундной экспозицией. В 1940 году Б. Оостеркампф показал применимость для таких экспериментов трубок с накаливаемым катодом [3]. В 1941 г. сотрудники американской фирмы "Вестингауз" Ч. Слэк и Е. Эрке создали трехэлектродную импульсную рентгеновскую трубку и показали перспективность использования высоковакуумных импульсных источников рентгеновских лучей [4].

Рождение в СССР импульсной рентгенографии, ее применение в исследованиях быстропротекающих процессов связано с научными и техническими разработками талантливого ученого и изобретателя, доктора технических наук, профессора В.А. Цукермана и его коллег (фото 1). Вениамин Аронович Цукерман — друг и соратник Юлия Борисовича Харитона. Он внес весомый вклад в разработку ядерного оружия Ему принадлежит идея создания импульсного источника нейтронов для внешнего инициирования ядерных зарядов, которая была реализована им совместно с Я.Б. Зельдовичем, А.А. Бришем и другими в начале 60-х годов.

80 лет жизни В.А. Цукермана вместили шесть десятилетий колоссального напряжения сил, генерацию смелых идей, мужество в сочетании с многогранной научной и общественной деятельностью.

В настоящей статье раскрывается страница истории научного поиска и творчества Вениамина Ароновича Цукермана и его школы в области рентгенографии быстропротекающих процессов.

В начале 40-х годов в рентгеновской лаборатории Института машиноведения Академии наук СССР были начаты работы по импульсной рентгенографии микросекундной длительности. В марте 1941 года сотрудники лаборатории В.А. Цукерман и А.И. Авдеенко получили рентгенограммы ружейной пули в свободном полете [5]. В качестве источника импульсов рентгеновского излучения они использовали кенотрон с кратковременно перекаливаемым катодом. На протяжении Великой Отечественной войны и в первые послевоенные годы в нашей стране такая техника оставалась основным средством для рентгеновских исследований быстропротекающих процессов. С помощью импульсной рентгенографии решались артиллерийские проблемы [6]. В 1942 году В.А. Цукерман предложил и применил такой метод для изучения явлений при детонации взрывчатых веществ (ВВ). Первая в мире публикация на эту тему появилась в 1943 г. в журнале ДАН СССР [7]. Мгновенная съемка процесса взрыва рентгеновскими лучами позволила изучить явления, протекающие в самом ВВ и на его границе. Для осуществления таких исследований необходимо было защитить рентгеновскую и регистрирующую аппаратуру от разрушающего действия ударной волны, осколков и точно синхронизовать импульс рентгеновского излучения с исследуемой фазой взрыва. Первая задача легко решается применением

бронезащитных экранов со специальными окнами. Для решения второй задачи использовалась ударная волна взрыва, которая приводила в действие электрический ключ высоковольтной схемы рентгеновской установки.

Бесспорно перспективным оказалось использование принципов импульсной рентгенотехники в структурном анализе. Первые работы в этом направлении были начаты В.А. Цукерманом и А.И. Авдеенко в 1941 году опытами с монокристаллами алюминия [5]. Возможность рентгенографирования поликристаллических образцов с экспозициями в десятые доли микросекунды впервые продемонстрировал Л.В. Альтшулер в 1943 году [8]. В последующие годы методические разработки получили дальнейшее развитие в ряде советских, американских, немецких и французских работ (например, [12, 13]) по исследованию структурных изменений при динамическом сжатии веществ.

В середине сороковых годов В.А. Цукерман предложил и осуществил в рентгеновской лаборатории Института машиноведения АН СССР комбинированный метод регистрации быстрых процессов [9]. Он основан на одновременной съемке быстропротекающих явлений оптическим и рентгенографическим методами. Свет электрического разряда в высоковольтной цепи питания рентгеновской трубки использовался для подсветки и оптического фотографирования движущегося объекта, а короткая вспышка рентгеновских лучей использовалась для рентгенографирования объекта. Рентгеновское и оптическое изображения при этом регистрировались раздельно на рентгенопленке и фотопленке. В результате для одной и той же фазы процесса искра фиксирует внешние границы газовых потоков, а рентгенограмма несет информацию о распределении основной массы вещества, эффективно поглощающего рентгеновское излучение. Оба снимка дополняют друг друга.

В августе 1942 года В.А. Цукерман предложил использовать рентгенографический метод для исследования бронебойного эффекта кумулятивных снарядов, которые немецкие войска применяли против наших танков. При калибре 76 мм они пробивали стальную броню толщиной до 100 мм. Никто не понимал, на чем основан принцип работы этих снарядов. Это предложение активно поддержал Ю.Б. Харитон, работавший в то время в области физики взрыва. В декабре 1942 года начались рентгенографические исследования взрыва снарядов. (рис. 2). Весной 1943 года Юлий Борисович писал: "Дорогой товарищ Цукерман (простите, не знаю Вашего имени и отчества), я показывал Ваши рентгенограммы Министру боеприпасов Борису Львовичу Ванникову. Они его очень заинтересовали и, особенно, Ваша идея применить рентгеновскую методику для изучения механизма действия кумулятивных зарядов. Он предлагает поставить Ваше сообщение по этому поводу на коллегии Министерства в Москве спустя один, два месяца. Как и во время нашего первого разговора в августе прошлого года, мне представляется, что рент-

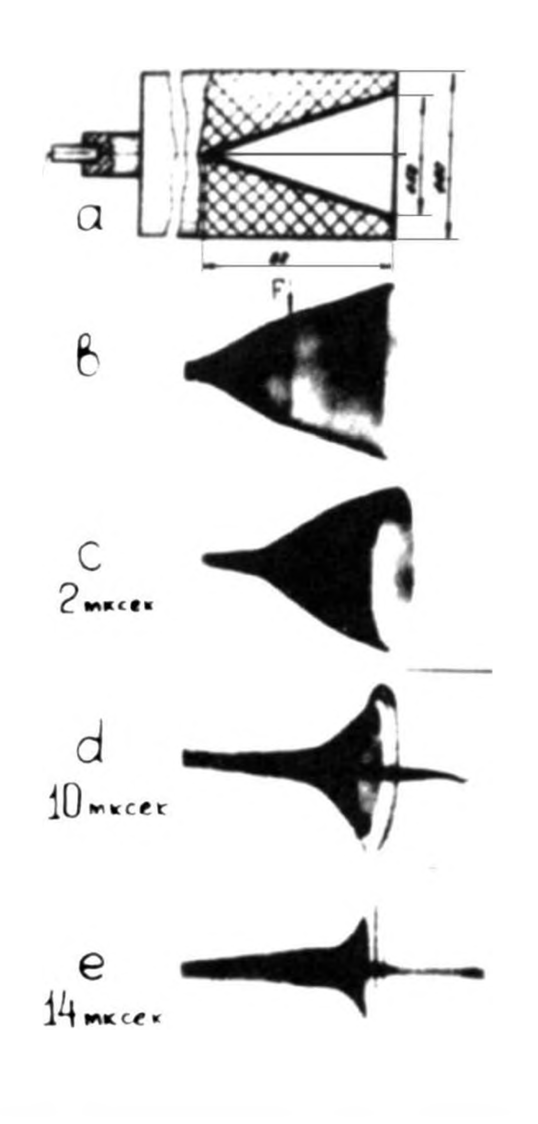


Рис. 2. Рентгенограмма взрыва снаряда

генографическая методика изучения взрывных процессов может оказаться полезной не только для кумуляции, но и во многих других случаях".

Этот доклад на коллегии состоялся в июле 1943 года. Его обсуждение прошло успешно. Была намечена и выполнена совместно с двумя московскими институтами боеприпасов обширная программа рентгенографических исследований. А в январе 1946 года В.А. Цукерман и Л.В. Альтшулер были награждены Государственной премией "За изобретение методов рентгенографических исследований явлений при выстреле и взрыве". Среди поздравлений с высокой правительственной наградой была телеграмма от Игоря Васильевича Курчатова.

Вскоре, в 1946 году, В.А. Цукерман вместе с лабораторией был приглашен к участию в работах по атомному проекту. Вся его дальнейшая деятельность протекала во Всесоюзном НИИ экспериментальной физики в г. Арзамас-16, где он руководил одним из ведущих научно-исследовательских коллективов. Сначала в 1946 г. под его руководством была организована лаборатория. Через год она стала физико-техническим отделом, усилия которого в это время были сосредоточены на двух направлениях исследований:

- импульсные рентгенографические исследования взрывов и сжимаемости веществ;
- исследование массовых скоростей и проводимости продуктов взрыва.

Для ученых, работавших в этом научном центре с полной отдачей, проведенные здесь годы были научным и гражданским подвигом. Наука служила обороне, решению задачи восстановления мирового равновесия по ядерным вооружениям. Но одновременно оборонные проблемы стимулировали фундаментальные и прикладные научные исследования. Большое значение имеют работы научной школы В.А. Цукермана в области создания методов и аппаратуры для изучения быстропротекающих процессов и

исследований ударно-сжатых материалов. Научные данные, необходимые для обоснования конструкции атомного заряда, были получены регистрацией параметров, возникающих на миллионные доли секунды в материалах под действием ударных волн с помощью рентгенографических и других методик.

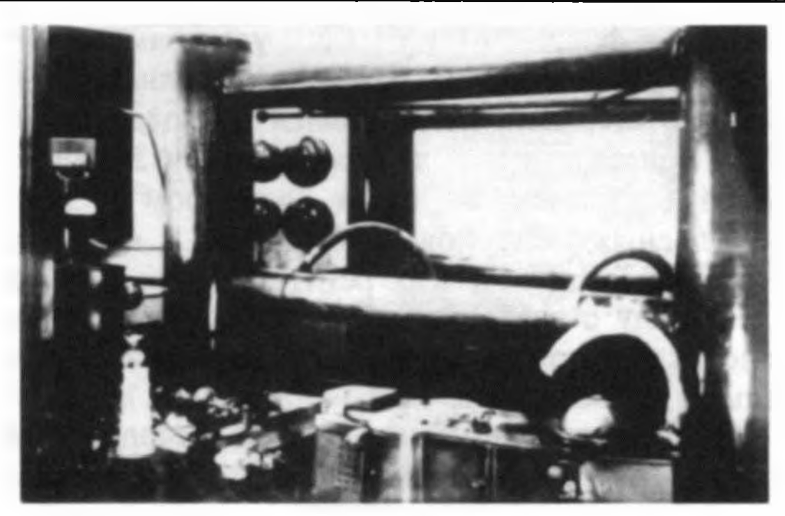


Рис. 3. Первая импульсная рентгеновская установка во ВНИИЭФ с напряжением на трубке до 500 кВ

Из Москвы в Арзамас-16 была доставлена первая импульсная рентгеновская установка с максимальным напряжением на трубке до 500 кВ (рис. 3). В мае 1947 г. на экспериментальной площадке ВНИИЭФ научные сотрудники М.А. Манакова и Д.М. Тарасов провели первый взрывной опыт с импульсным рентгенографированием динамики сжатия металлического сферического образца. После этого начались систематические исследования симметрии и степени сжатия различных материалов при ударном нагружении (рис. 4).

Проблемы, связанные с разработкой ядерного оружия, определили направления совершенствования импульсных генераторов рентгеновского излучения. Существенный прогресс был достигнут при переходе к двухэлектродным рентгеновским трубкам.

В 1947-48 гг. на смену кенотронам с перекаливаемым катодом пришли двухэлектродные вакуумные рентгеновские трубки с автоэлектронной эмиссией на катоде. Особенно существенный шаг был сделан при разработке трубки с



Рис. 4. Подготовку рентгенографического взрывного опыта на экспериментальной площадке ВНИИЭФ проводит научный сотрудник М.А. Манакова (фото Ю.Б. Харитона, август 1947 г.)

анодом в форме иглы [9]. Нетрудно заметить, что в направлении оси такой трубки действующий фокус определяется диаметром анодного стержня. Обычно стержень изготовлялся из вольфрамового прутка диаметром 3 мм. Угол при вершине иглы составлял 6-12°. Действующий фокус представляет собой эллипсоид с малым диаметром ~ 3 мм. Это приблизило качество импульсных рентгеновских снимков к качеству рентгенограмм, получаемых с помощью статических рентгеновских источников.

Наряду с разборными, непрерывно откачиваемыми импульсными рентгеновскими трубками, были разработаны отпаянные трубки с игольчатым анодом, работающие при напряжении до 1,5 МВ [10].

К этому же времени относится создание многокаскадных генераторов импульсных напряжений (ГИН). Одиночные накопительные конденсаторы были заменены ударными конденсаторными контурами по схеме Аркадьева-Маркса. Таким образом, напряжение на трубке было повышено до 2 МВ [9].

В большинстве исследований импульсные рентгеновские трубки с анодом в форме иглы обслуживались ударным генератором, составленным из четырех последовательно включенных блоков ГИН-500. При использовании высокочувствительных рентгеновских пленок и усиливающих экранов стало возможным рентгенографирование массивных объектов большой плотности. Было показано, что при ускоряющем напряжении 1,5 МВ возможно одиночным импульсом рентгенографировать сталь толщиной 70 мм и алюминий — 200 мм. Длительность импульса рентгеновского излучения составляла $(2\div2,5)\cdot10^{-7}$ с без фильтра и $(1,5\div2)\cdot10^{-7}$ с при наличии фильтра [10].

Геометрия электродов импульсной рентгеновской трубки с анодом в форме иглы позволяет сравнительно просто осуществить многократное рентгенографирование с несколькими последовательно работающими излучателями при напряжениях 1-1,4 МВ. На рис. 5а показана схема расположения анодов в установках для восьмикратного рентгенографирования. Каждый источник излучения проектирует "тень" объекта на автономную кассету с рентгенопленкой. Конструкции таких рентгеновских установок показаны на рис. 5-б.

Большой вклад в развитие отечественной импульсной рентгеновской техники в пятидесятые-шестидесятые годы внесли В.А. Цукерман, Д.М. Тарасов, М.А. Манакова, Л.П. Волков, А.А. Лукашов, Н.Г. Павловская, Н.В. Белкин, К.Ф. Зеленский, Н.И. Завада, И.А. Трошкин, И.Ш. Модель, Е.А. Сбитнев, В.И. Фадеев, В.В. Чернышкина, В.П. Зюзин и др.

Дальнейшее совершенствование методики и техники импульсного рентгенографирования в классическом варианте с прямым разрядом ГИН на вакуумный диод происходило по линии увеличения амплитуды импульса напряжения и энергоемкости ГИН. В конце 50-х — начале 60-х годов лучшие отечественные генераторы тормозного излучения обеспечивали просвечивание 90-100 мм Pb на расстоянии 1 м от источника, а на выходном

окне вакуумного диода мощность дозы достигала (1-2)·10^{10} Р/с при длительности импульса ~10^{-6} с.

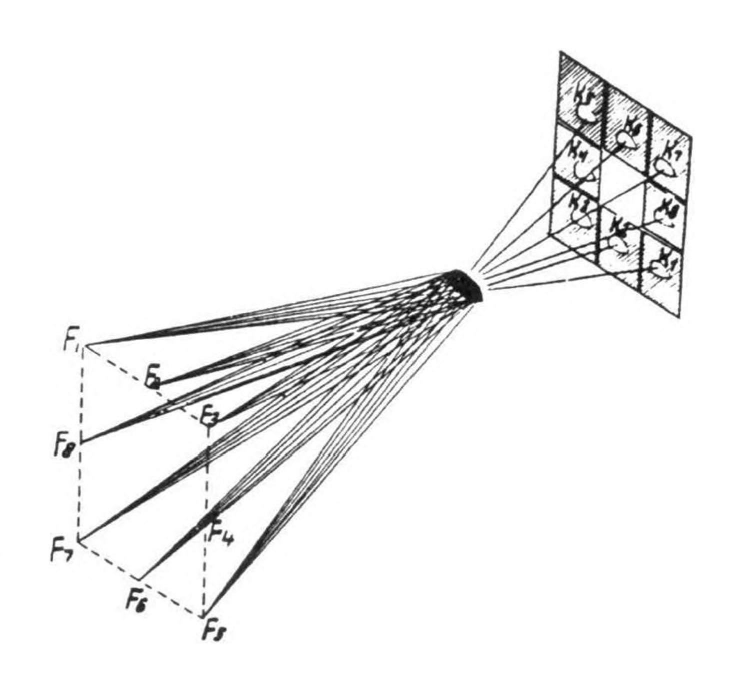
В последующий период научный коллектив отдела развил два важных направления отечественной рентгенотехники:

- Малогабаритные импульсные рентгеновские аппараты (ИРА, РИНА, МИРА-Д, КВАНТ и др.).

- Генераторы мощных импульсов тормозного излучения с энергией квантов до 5 МэВ (МИГ-5000, РИУС-5, РИУС-3В, ГОНГ-1, ОРИОН-1 и др.).

Было налажено серийное производство импульсных рентгеновских аппаратов. Такие приборы и установки широко используются не только для рентгенографических исследований по программе изучения ядерных зарядов, но и в других областях оборонной техники, народного хозяйства и медицины. (Рис. 6а, б, в)

В заключение следует отметить, что в конце пятидесятых годов А.И. Павловским, Г.Д. Кулешовым и др. был предложен и реализован в импульсной γ-графии принципиально новый источник коротких импульсов тормозного излучения — безжелезный бетатрон [11]. Его применение существенно расширило возможности рентгенографирования при ударном сжатии массивных объектов с высокой оптической плотностью. Импульс-



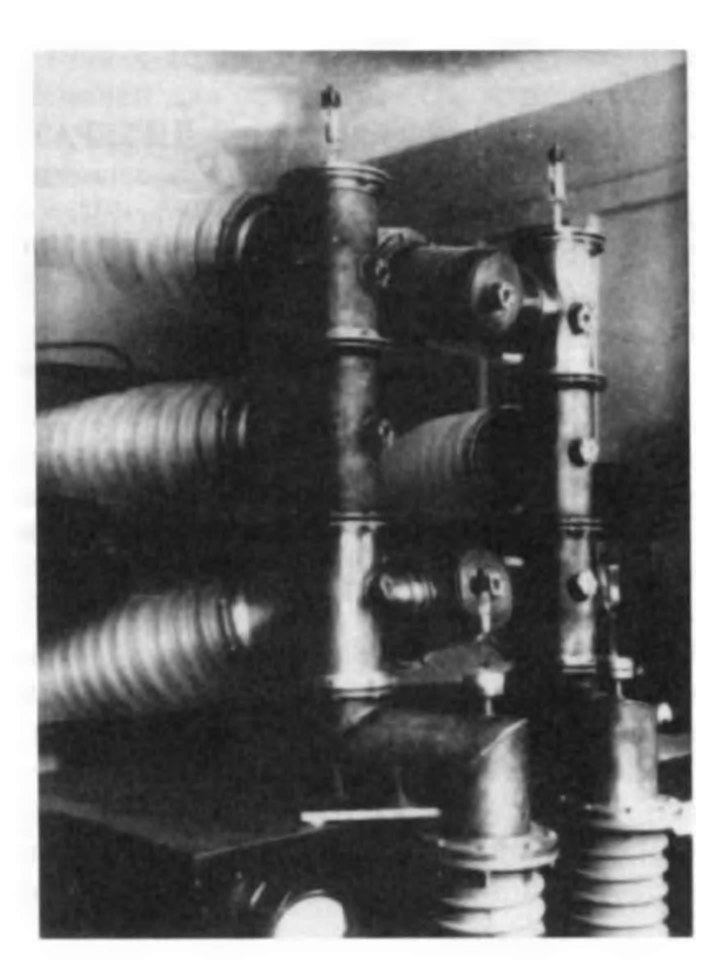


Рис. 5. Оптическая схема (а) и установка (б) для восьмикратного импульсного рентгенографирования

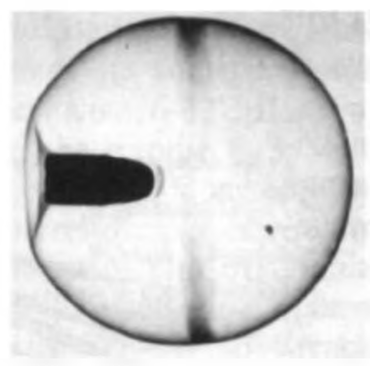
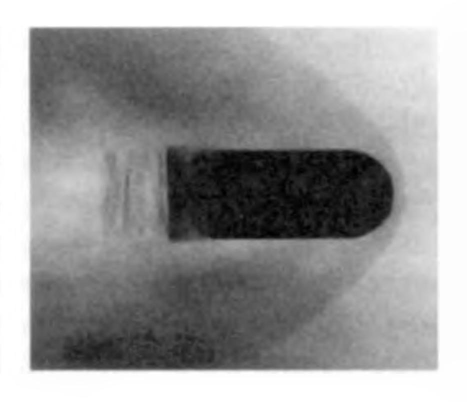




Рис. 6. Образцы импульсных рентгенограмм:
а) пуля в баллоне лампочки; б) пуля в целлулоидном шарике; в) пуля в ксеноне (v ≈ 3 Маха)

ные безжелезные бетатроны также сыграли важную роль при разработке и совершенствовании ядерных зарядов во ВНИИЭФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **M. Kingdon, H. Tanis.** Phys. Rev., 1938, v. 53, №2, p. 128.
2. **M. Steenbeck.** Wissenschaft. Veroff. a.d. Siemens Werke, 1938, v. 17, №4, p. 363.
3. **W.J. Oosterkampf.** Phillips. Techn. Rev., 1940, v. 5, p. 22.
4. **Ch. Slack, E. Ehrke.** J. Appl. Phys., 1941, v. 12, p. 165.
5. **В.А. Цукерман, А.И. Авдеенко.** ЖТФ, 1942, XII, с. 1985.
6. **Г.М. Страховский, В.А. Цукерман.** Известия ОТН АН СССР, 1946, №3, с. 371.
7. **В.А. Цукерман.** ДАН, 1943, XI, №7, с. 267.
8. **Л.В. Альтшулер.** ЖЭТФ, 1943, т.13, с. 11.
9. **В.А. Цукерман, М.А. Манакова.** ЖТФ, 1957, XXVII, с. 391.
10. **В.И. Зюзин, М.А. Манакова, В.А. Цукерман.** ПТЭ, 1958, №1, с. 84.
11. **А.И. Павловский, Г.Д. Кулешов, Г.В. Склизков.** ДАН СССР, 1965, т. 160, вып. 1, с. 68.
12. **А.И. Баренбойм, Л.А. Егоров, Н.Г. Макеев и др.** ПТЭ, 1992, №1, с. 189.
13. **A.C. Mitchell, Q. Jonson, L. Evans.** Rev. Scient. Instrum., 1973, v. 44, №5, p.597.

О РАБОТАХ ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ПО ТЕРМОЯДЕРНОМУ ОРУЖИЮ

В.И. Читайкин

1. Общеизвестно, что с конца 1940-х годов в ФЭИ разрабатывались силовые ядерные энергетические установки для различных средств доставки ядерного оружия. В этом направлении ФЭИ добился рекордных показателей по ряду важнейших параметров. Наиболее яркий пример — высокие скоростные и маневренные качества подводной лодки (ПЛ), оснащенной силовой ядерно-энергетической установкой (СЯЭУ) разработки ФЭИ (тип ПЛ — "Альфа" по терминологии НАТО). Ходовые испытания показали, что ПЛ с такой СЯЭУ способна уклоняться даже от торпед. Это достижение было занесено в книгу рекордов Гиннеса.

Вместе с тем, практически неизвестно, что в ФЭИ в период с 1951 г. по 1955 г. велись интенсивные расчетно-теоретические работы по термоядерному взрывному устройству (водородной бомбе) и ряду других вопросов, непосредственно связанных с физикой работы и действия таких устройств. Об этих работах упомянуто в недавней статье Ю.Б. Харитона, В.Б. Адамского и Ю.Н. Смирнова [1]. В статье говорится о работах ФЭИ только по так называемой "трубе" ("труба" — длинный цилиндр, наполненный жидкий дейтерием). "К началу 50-х годов наряду с арзамасской и московской группами Я.Б. Зельдовича к отдельным вопросам по этому направлению (т.е. по "трубе") было подключено несколько молодых сотрудников Д.И. Блохинцева в Обнинске. Им поручили решение задачи по переносу энергии нейтронами для случая, если бы в "трубе" произошло термоядерное поджигание, а также исследование распространения детонационной волны в дейтерии".

Цель нашего доклада — полнее осветить интересную страницу в истории советского атомного проекта, связанную с вкладом ФЭИ в решение проблемы. Доклад подготовлен на основании научно-технических отчетов, справок и

других документов, хранящихся в архиве ФЭИ, и личных воспоминаний некоторых непосредственных участников тех работ.

2. Как сказано в статье [1], началом исследований по термоядерному взрывному устройству (т. я. ВУ) в СССР следует считать открытый отчет 1946 года "Использование ядерной энергии легких элементов" авторов И.И. Гуревича, Я.Б. Зельдовича, И.Я. Померанчука и Ю.Б. Харитона [2]. После 1946 года работы по т. я. ВУ резко активизировались, особенно после первых успешных испытаний атомных взрывных устройств, и велись по различным направлениям (см. [1]). Принципиальные экспериментальные результаты по т. я. ВУ были получены в 1953 г. и в 1955 г. Кроме испытанных, расчетным образом исследовались и другие физические схемы т. я. ВУ.

Все работы по т. я. ВУ были сосредоточены в КБ-11 (впоследствии ВНИИЭФ), где проводились теоретические и расчетные исследования, физические эксперименты, разрабатывалась конструкция и проводилась ее технологическая и экспериментальная отработка, происходили изготовление т. я. ВУ и подготовка к испытаниям.

3. В 1951 г. в ФЭИ (тогда лаборатория "В"), в Обнинске начались теоретические и расчетные работы по т. я. ВУ (водородной бомбе). Физическая схема ее отличалась от рассматриваемых т. я. ВУ в то время во ВНИИЭФ и от испытанных в 1953 г. и в 1955 г. конструкций. Не вдаваясь в подробности, можно сказать, что исследовалась возможность осуществления т. я. детонации большой сферической массы дейтерия, разжигаемой из центра. В отчетах того времени такая физическая схема т. я. ВУ называлась "сферической системой".

Подробно исследовались следующие вопросы:

- т. я. кинетика, в том числе, т. я. реакции с участием "быстрых" частиц, т.е. частиц, не находящихся в тепловом равновесии;
- баланс энергии в зоне т. я. горения с учетом переноса энергии нейтронами, гамма-квантами, "быстрыми" частицами;
- скорости обменных процессов между излучением и веществом (время установления теплового равновесия);
- формирование фронта детонационной волны, поведение газодинамических характеристик на фронте и за фронтом ДВ с учетом различных механизмов переноса энергии и т. я. энерговыделения.

В работах ФЭИ была сформулирована полная физико-математическая модель всех основных процессов, протекающих при работе т. я. ВУ. Эта модель была реализована в математических программах (одномерная сферическая геометрия, метод конечных разностей).

Была выполнена серия расчетов, по результатам которых была предложена конструкция т. я. ВУ. Расчетное значение энерговыделения такой конструкции почти вдвое превышало значение, полученное при испытании "слойки" в 1953 г. Но значение выгорания дейтерия при этом не превысило 2%. Т.я.

горение детейтерия быстро затухало. Таким образом, добиться главного — устойчивой стационарной т. я. детонации в D-шаре, разжигаемом из центра — не удалось. После 1955 года эти работы были прекращены. Развитие т. я. ВУ пошло по другому пути.

Personalia.

Начало работ по т. я. ВУ в Обнинске было положено отчетом Д.И. Блохинцева "Газодинамика вещества при высоких температурах", 1951 год. Окончательные результаты по сферической системе на жидком дейтерии содержатся в двух "толстых" сводных отчетах 1954 г. и 1955 г. Исполнителями их были: Н.В. Легошина, Н.Я. Лукиных, И.П. Маркелов, Е.И. Погудалина, А.Р. Птицын, В.И. Сердобольский, В.В. Смелов, Т. Тушкина. Ответственные исполнители: Н.И. Булеев, В.С. Имшенник, Б.Б. Кадомцев, Г.И. Марчук, Ю.П. Райзер. Руководители работ: Д.И. Блохинцев, А.С. Давыдов, Е.С. Кузнецов.

В ФЭИ, в работах Сердобольского изучалась возможность использования в т. я. ВУ не только жидкого дейтерия, но и твердого носителя дейтерия.

В.С. Имшенником под руководством А.С. Давыдова и Д.И. Блохинцева изучались "гидродинамические, термодинамические и электродинамические свойства неравновесной высокотемпературной плазмы" (название итогового отчета В.С. Имшенника).

В 1955 году Б.Б. Кадомцевым была защищена кандидатская диссертация на тему: "Перенос энергии и импульса быстрыми частицами в дейтериевой среде". Руководитель — Д.И. Блохинцев.

Необходимо отметить, что в архивах ФЭИ отчетов о научно-исследовательской работе по конструкции т. я. ВУ типа "труба" не имеется.

4. Работами по сферической системе с использованием дейтерия не исчерпывалась деятельность ФЭИ по ядерно-оружейной тематике. В 1953-1955 гг. были выполнены работы по физике ядерного взрыва в атмосфере. Подробно построена полная физико-математическая модель основных процессов, сопровождающих ядерный взрыв в земной атмосфере. Подробно рассмотрено интересное явление — минимум яркости огненного шара ("притухание"), которое было обнаружено экспериментально при проведении воздушных ядерных испытаний. В работах ФЭИ были проанализированы различные гипотезы, объясняющие это явление, и показана их несостоятельность. Найдено верное объяснение — влияние переходов на молекулах примеси NO_2.

Personalia.

Работы по изучению явлений, сопровождающих воздушный ядерный взрыв, были выполнены Ю.П. Райзером под руководством А.С. Давыдова и Д.И. Блохинцева. В 1955 году Ю.П. Райзером была защищена кандидатская диссертация на тему "Об оптических процессах в огненном шаре и охлаждении воздуха излучением". Руководитель — Д.И. Блохинцев. Результаты исследований Ю.П. Райзера, выполненных им в ФЭИ, вошли в знаменитую

книгу Я.П. Зельдовича и Ю.П. Райзера "Физика ударных волн и температурных гидродинамических явлений (1962 г.).

5. Основные результаты и значение работ ФЭИ по ядерно-оружейной тематике.

1. Предложен оригинальный способ осуществления термоядерного горения и создания термоядерной (водородной) бомбы. Идея состояла в воспламенении большой массы дейтерия в виде сферы. Инициирование термоядерной детонации должно быть осуществлено из центра сферической системы.

2. Выполнен полный расчетно-теоретический анализ предложенного т. я. ВУ с дейтерием. В расчетах получено значение мощности взрыва. Исследованы различные механизмы энергетических потерь, которые делают практически невозможным осуществление стационарной т. я. детонации в анализируемой системе.

3. В ходе исследований по физике ядерного взрыва в атмосфере была сформулирована полная физико-математическая модель процессов, сопровождающих воздушный ядерный взрыв. Созданы теоретические основы одного из методов определения мощности воздушного взрыва.

Глубокие физико-теоретические и расчетные исследования по термоядерной детонации, выполнявшиеся обнинской группой, повлияли на оценку перспектив разработок по "трубе". Работы по "трубе", проводившиеся арзамасской и московской группами Я.Б. Зельдовича, были признаны "полностью бесперспективными". Совещание, на котором было принято это решение, состоялось в Министерстве среднего машиностроения в начале 1954 года. Вел совещание И.В. Курчатов. Одним из наиболее важных физических аргументов, приведших к такому решению, была отрицательная роль переноса энергии нейтронами, рождающимися в т. я. реакциях. Это явление подробно исследовалось в работах ФЭИ. На совещании в Министерстве доклад по этим результатам делал Б.Б. Кадомцев. В статье [1] говорится: "...именно протяженное в пространстве энерговыделение от нейтронов, наряду с комптонизацией, также изучавшейся в Обнинске, исключало возможность детонации".

6. Основные черты проводившихся в ФЭИ в период с 1951 г. по 1955 г. ядерно-оружейных исследований.

1. В ФЭИ разрабатывалась конструкция т. я. ВУ. Работы велись не по отдельным физическим вопросам, связанным с разработкой т. я. ВУ, а по всей их совокупности. В ходе исследований разрабатывалась конкретная конструкция т. я. ВУ. Расчетно оценивалось влияние некоторых конструктивных элементов.

2. Независимость исследований от аналогичных работ ВНИИЭФ. Координация работ осуществлялась на высоком административном уровне. Исследователи из ФЭИ не были знакомы с работами ВНИИЭФ по ядерно-оружейной тематике. В работах ФЭИ отсутствуют ссылки на ана-

логичные работы, проводимые в то же время во ВНИИЭФ. В диссертации Ю.П. Райзера, посвященной явлениям при воздушном ядерном взрыве, есть выражение признательности Я.Б. Зельдовичу за обсуждения.

3. Высокий научный уровень исследований.

В работах ФЭИ сформулирована полностью физическая модель всех процессов, разработана соответствующая математическая модель. Выполнены сквозные расчеты. Полученные в ФЭИ результаты по термоядерной плазме были впоследствии развиты в работах других институтов. Ряд отчетов ФЭИ по ядерно-оружейной тематике были направлены в конце 1960-х годов по запросу Министерства во ВНИИТФ (Снежинск) для постоянного использования.

Среди работавших в начале 1950-х годов в ФЭИ по ядерно-оружейной теме немало тех, кто впоследствии достиг высоких результатов и стали известными учеными: Д.И. Блохинцев, Б.Б. Кадомцев, Г.И. Марчук, Ю.П. Райзер, В.С. Имшенник и др.

После 1955 года работы по ядерно-оружейной тематике в ФЭИ были полностью прекращены. Последующая судьба участников тех работ — тема отдельного исследования.

* * *

Изучение малоизвестных страниц в книге истории советского атомного проекта привлекает возможностью увидеть ярче и полнее достижения наших отцов-основателей. Кроме того, это дает возможность выразить им искреннюю признательность.

ЛИТЕРАТУРА

1. **В.Ю. Адамский, Ю.Н. Смирнов, Ю.Б. Харитон.** УФН, 1996, т. 166, №2, с.201.

2. **И.И. Гуревич, Я.Б. Зельдович, И.Я. Померанчук, Ю.Б. Харитон.** УФН, 1991, т.161, № 5, с. 171.

ПЕРВЫЕ КРИТМАССОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПЛУТОНИЕМ В СССР

Ю.С. Замятнин

Весной 1949 г. во ВНИИЭФ была предпринята первая экспериментальная оценка критической массы металлического плутония. Так как к этому моменту времени количество накопленного плутония было еще мало и находилось далеко от критического значения, результаты этих опытов позволили получить расчетным путем лишь грубую оценку значения критмассы.

В это же время велась подготовка необходимой оснастки и аппаратуры для проведения основных критмассовых измерений. Такие измерения было решено проводить на Урале на территории металлургического предприятия, изготавливавшего металлический плутоний.

После того как было наработано достаточное количество плутония, в июне 1949 г., примерно за 3 месяца до первого испытания оружия, группа Г.Н. Флерова, почти в полном составе, вместе со всем необходимым оборудованием выехала на место измерений. Измерения проводились в отдельном здании, удаленном от других строений.

Установка для измерений (см. рис. 1) была смонтирована в просторном помещении и состояла из металлической подставки-станины, на которой размещались нижние полусферы отражающих урановых оболочек и обе полусферы из плутония, покрытые тонкой полусферой из урана (радиус R_0 на рис. 2) для защиты от механических повреждений; системы блоков, позволяющей с помощью ручной авиационной лебедки поднимать и опускать верхние полусферы урановых оболочек; всеволнового детектора нейтронов и регистрирующей электронной аппаратуры; световой и звуковой сигнализации скорости счета. И.В. Курчатов все это устройство с блоками и тросиками в шутку называл "египетской техникой". В центре плутониевых полусфер размещался нейтронный источник. Предварительно было проверено

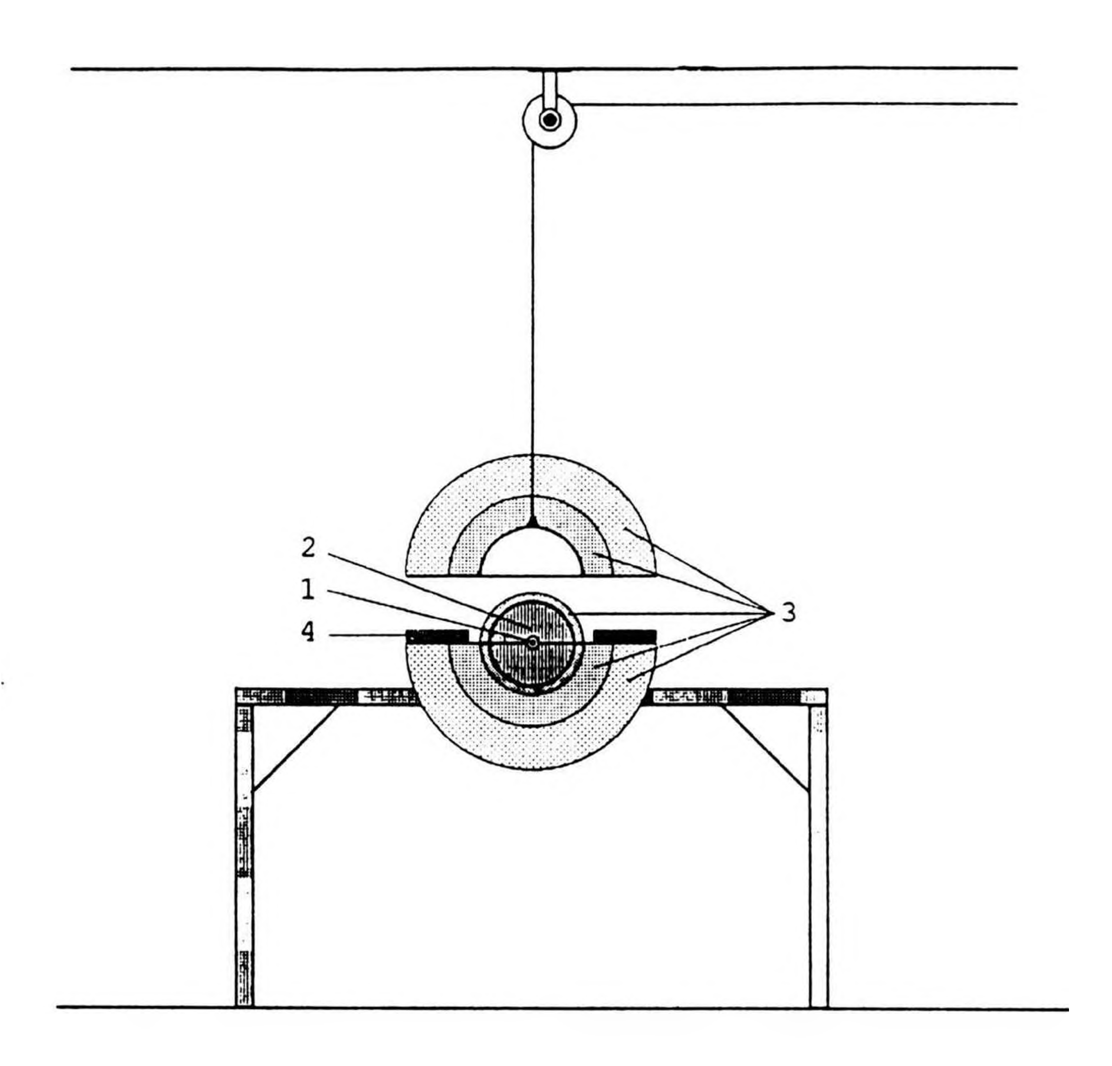


Рис. 1. Схематическое изображение установки для проведения критмассовых экспериментов.
1 — источник нейтронов, 2 — плутоний,
3 — урановые оболочки, 4 —ограничительные прокладки

постепенным сближением плутониевых полусфер, что вся эта система, как и следовало из расчетов, находится в подкритическом состоянии.

Основным содержанием эксперимента на каждом его этапе было определение коэффициента умножения нейтронов в системе по изменению скорости счета нейтронного детектора. Для данной конфигурации системы коэффициент умножения возрастал по мере опускания верхних урановых полусфер. Построение зависимости обратной величины коэффициента умножения от зазора между полусферами d и экстраполяция этой величины к нулю давала возможность определить состояние системы по отношению к критическому (рис. 2). Такие измерения проводились для урановых оболочек постепенно увеличивающейся толщины. При достаточной толщине

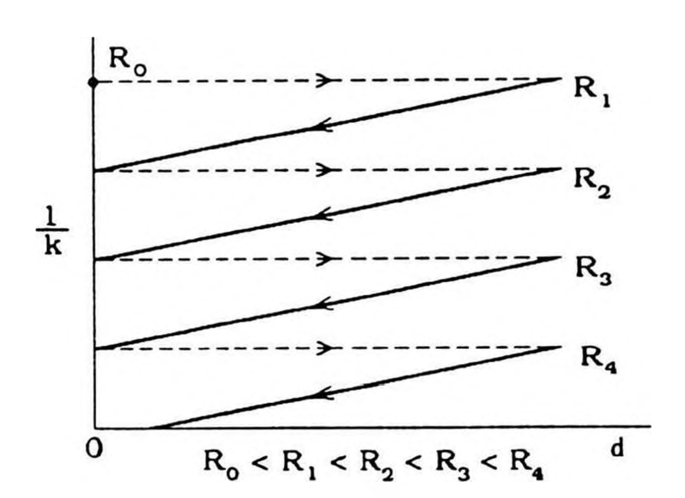


Рис. 2. Схема последовательности измерений при проведении критмассовых экспериментов. R_0 – радиус начальной урановой оболочки, R_i – радиусы оболочек последовательно увеличивающейся толщины

оболочки (R_4 на рис. 2) критичность достигалась еще до полного сближения и соприкосновения ее с нижней частью системы. В целях безопасности эксперимента каждое опускание верхних урановых полусфер на нижние ограничивалось и фиксировалось дистанционирующими прокладками необходимой толщины. Результаты хода экспериментов Я.Б. Зельдович сразу же использовал для расчетов значения критмассы.

При толщине урановой оболочки, при которой достигалась возможность перехода системы через "нижнее" значение критической массы (R_4), по инициативе И.В. Курчатова был начат "разгон" системы — развитие незатухающей цепной реакции деления, скорость развития которой определялась запаздывающими нейтронами. При проведении таких экспериментов наибольшую опасность представляло достижение "верхней" критической массы, что могло привести к неуправляемому разгону системы на мгновенных нейтронах.

Осуществление незатухающей цепной реакции на быстрых нейтронах стало, по существу, пуском первого в СССР физического реактора (как тогда называлось, "котла") на быстрых нейтронах нулевой мощности. Физический котел на быстрых нейтронах по моей инициативе назвали сокращенно ФиКоБыН. Если в 1949 г. такая система использовалась при определении критмассы плутония, то потом, уже в Арзамасе, ФиКоБыН действовал как стационарная установка, а также использовался как интенсивный источник нейтронов, близких к спектру деления.

Все описанные критмассовые эксперименты проводились под общим руководством И.В. Курчатова и при постоянном внимании руководителей Первого Главного Управления Б.Л. Ванникова и А.П. Завенягина.

В духе того времени вся работа группы Г.Н. Флерова во ВНИИЭФ выполнялась в атмосфере большого энтузиазма, с пониманием ее жизненной важности для страны. Это позволило подготовить и выполнить весь описанный комплекс исследований за такой сжатый срок как полтора года.

ФИАН И СОВЕТСКИЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ ПРОЕКТ

Г. Горелик

Для истории советского атомного проекта особое значение имеют вопросы о первой советской термоядерной бомбе, испытанной в августе 1953 года. В какой мере это было независимое изобретение на фоне обильного потока разведывательной информации об Американском проекте? Что способствовало успеху изобретателей?

МАНДЕЛЬШТАМОВСКАЯ ТРАДИЦИЯ В ФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА

В отличие от атомной бомбы, которая с самого начала делалась за очень колючей проволокой госбезопасности, советская водородная бомба родилась в центре Москвы, в здании, которое задумывалось как храм науки — чистой науки, свободной от государственного принуждения.

Физический институт АН СССР им. П.Н. Лебедева занимал тогда здание, построенное на частные средства до революции. Оно предназначалось для самого Лебедева, вынужденного покинуть государственную службу в университете, но работать в новом институте ему не дала его смерть в 46 лет.

"*Когда-то Лебедев измерял давление света в тончайших, по тому времени, экспериментах — тут* [в физике термоядерного взрыва — Г.Г.] *оно было огромным и определяющим*", — написал в своих "Воспоминаниях" Андрей Сахаров.

Тончайшие опыты экспериментатора Лебедева на рубеже 20 века имели большое значение для теоретической физики, окончательно подтвердив электродинамику Максвелла и — вместе с этим — укрепив фундамент для теории относительности. Термоядерные опыты середины столетия, в которых столь значительную роль сыграл теоретик Сахаров, определили необходимость нового фундамента для мировой политики.

Между этими столь разными опытами — полвека истории, переполненной событиями. За это время возникла новая мировая держава в физике — Советская Россия.

В истории ФИАНа вполне запечатлелись необщие аршины советской цивилизации. Этот московский институт рождался в Ленинграде в то время, когда его зданием на Миусской площади распоряжался загадочный Физико-химический институт спецзаданий, не оставивший следов в истории. Хотя инициатором ФИАНа, можно сказать, его отцом, был Г. Гамов, подлинным его создателем стал "отчим" — Сергей Иванович Вавилов [1].

При этом главной научной опорой института Вавилов сделал школу Л.И. Мандельштама, обеспечивая ей все возможности развития и спасая ее, кроме прочего, от неминуемого разорения в МГУ. Именно в этой школе формировался А.Д. Сахаров. Он поступил в аспирантуру ФИАНа спустя всего несколько недель после смерти Мандельштама, но научные и моральные традиции школы действовали еще многие годы, благодаря сотрудникам и ученикам Мандельштама — И.Е. Тамму (1895-1971) и Г.С. Ландсбергу (1890-1957), А.А. Андронову (1901-1952) и М.А. Леонтовичу (1903-1981). Этих очень разных людей объединяло рыцарское отношение к науке, высокий профессионализм и моральная позиция, весьма устойчивая к агрессивным воздействиям социальной среды. Характерной чертой Мандельштамовской традиции было отношение к чистой и прикладной науке, — никакой абсолютной грани между ними, и там и тут может появиться жизненная проблема, способствующая прогрессу науки, однако при этом четкое различие между "жизненным" и "утилитарным" [2].

Все это способствовало тому, что российский путь к термоядерной энергии открылся в ФИАНе.

ВАВИЛОВ И ТЕРМОЯДЕРНАЯ ГРУППА В ФИАНЕ

Началось это в 1948 году, когда была организована Таммовская термоядерная группа. Это, видимо, было уступкой руководителей Атомного проекта усилиям президента Академии наук и директора ФИАНа С.И. Вавилова вовлечь физиков его института в проект высшей государственной важности (и соответствующего финансирования). На фоне крайне срочных работ по атомной бомбе гипотетическая водородная бомба выглядела проблемой далеко не первой важности. И задача перед ФИАНовцами ставилась вспомогательная — помогать группе Я.Б. Зельдовича, уже работавшей в этом направлении с 1946 года и инициированной разведывательной информацией [3].

И.В. Курчатов с самого начала Атомного проекта — с 1943 года — опирался на "выпускников" школы А.Ф. Иоффе. Помимо естественно возникших — физтеховских — личных связей, особенно важных для столь ответственного дела, у Курчатова и не было особых причин привлекать ФИАНовских теоретиков, ориентированных прежде всего на фундаменталь-

ные проблемы. Ведь на первой — атомной — стадии проекта речь в сущности шла о прикладной физике, где физтеховская школа Иоффе не имела себе равных в стране. Гораздо более загадочным является то, что не был привлечен главный теоретик Физтеха — Я.И. Френкель.

Вавилову вначале — с 1944 года — удалось вовлечь нескольких ФИА-Новцев во вспомогательные реакторные исследования (И.М. Франк, Е.Л. Фейнберг, Л.В. Грошев, Л.Е. Лазарева) [4].

Затем ему удалось убедить Сталина, что изучение космических лучей — потенциально стратегически важное дело, и в 1947 году "в ударном темпе" руками заключенных было построено новое здание для Памирской станции [5].

Сохранилось документальное свидетельство усилий ФИАНа включиться в Атомный проект по-настоящему. Это обширный перечень научных задач в области "*спец. энергии*" и объяснительная записка к нему, адресованные в Госплан 24 сентября 1947 г. "*Основные проблемы научно-исследовательской работы*" включали в себя и "*расщепление тяжелых элементов*", и "*синтез легких элементов*", и даже "*возможность использования внутренней энергии самих элементарных частиц в процессах, аналогичных известному для аннигиляции позитрона электроном*". При этом академически широкий фронт исследований, "имеющих значение для проблемы спец. энергии", предполагал объединить и релятивистскую квантовую теорию, и астрофизику, и вычислительные машины, и радиобиологию. В этом документе, говорящем о состоянии ФИАНа перед его включением в термоядерный проект, нет никаких признаков знакомства с "*цельнотянутой*" (по выражению А.Д. Сахарова) информацией и явные признаки теоретической "невинности", исследовательской смелости и широты. [6]

ВОДОРОДНАЯ БОМБА И СОЦИАЛЬНАЯ ИСТОРИЯ СОВЕТСКОЙ ФИЗИКИ

О том, что теоретики ФИАНа были готовы к термоядерной тематике, мог догадаться "широкий круг читателей". Большая статья И.Е. Тамма в "Правде" 1946 г., "Внутриатомная энергия", начинается именно с теоретически более прозрачного термоядерного механизма, а не деления, уже воплощенного в жестокую реальность [7].

Один из ближайших сотрудников Тамма, В.Л. Гинзбург, выпустил в 1946 г. популярную брошюру "Атомное ядро и его энергия", где подобным образом объяснял запасы ядерной энергии на примере лития: "*Легко себе представить, какое значение для всего развития науки и техники на Земле имело бы овладение запасами ядерной энергии. Вместо целого поезда с углем можно было бы взять 100-200 граммов лития* " [8]. (Мог ли он предположить, что именно с литием будет связан его вклад в создание водородной бомбы?)

Однако, именно в 1946 году избрание Тамма в академики было предотвращено на высшем партийном уровне. Отсюда можно догадаться, что

для стражей государственной безопасности анкета Тамма была слишком нехороша, чтобы без особых причин одобрить его кандидатуру, несмотря на все его научные заслуги. [9]

Особые причины появились в марте 1948 года, когда Клаус Фукс передал советской разведке данные, свидетельствующие о серьезной работе, ведущейся американцами по созданию водородной супер-бомбы.

Эти причины добавились к усилиям Вавилова, и в июне 1948 года группа Тамма начала работать. В ее состав вошли С.З. Беленький, В.Л. Гинзбург, А.Д. Сахаров, Ю.А. Романов. Разведывательные данные группе Тамма не сообщались [10], и это, можно думать, облегчило Сахарову всего через несколько месяцев после начала работ увидеть тупиковый характер разрабатываемого группой Зельдовича ("импортированного" и прямолинейного) варианта — "трубы" — и выдвинуть более изощренную идею "слойки". Незнание разведывательной информации о большом сечении взаимодействия DT не помешало Гинзбургу предложить также оказавшуюся ключевой идею "LiDочки". О техническом смысле слоеной конструкции и роли дейтерида лития уже рассказано коллегами Сахарова [11]. Для истории науки особенно важно, что речь идет о конструкциях, качественно различных: "труба" — сигара неопределенной длины, заполненная дейтерием, с атомной зажигалкой с краю, а "слойка" — шар, размеры которого определены атомной зажигалкой, помещенной в ее центре.

Если бы весьма детальные данные, предоставленные Фуксом в 1948 году, сообщили ФИАНовцам, то необходимость их рассмотрения скорее помешала бы осознать тупиковость этой схемы. Во всяком случае, американские физики убедились в бесперспективности ее только в 1950 году, а "труба" Зельдовича была закрыта только в начале 1954 года. Само содержание термоядерных сообщений Фукса подтверждает независимость "слойки", поскольку они не имеют ничего общего.

Проект "слойки" был довольно быстро одобрен руководством проекта, и ФИАН переключился на него. Поступавший в 1948 году в аспирантуру Е.С. Фрадкин уже получил от Тамма задачу об ударной волне в слоистой системе [12]. Тамм и Сахаров ставили перед экспериментаторами ФИАНа конкретные задачи по измерению параметров взаимодействия 14 и 2,5 МэВ-ных (*DT*- и *DD*-) нейтронов с ураном-238 [13].

История ФИАНовской водородной бомбы тесно переплелась с социальной историей советской физики.

В первые месяцы 1949 года над советской физикой нависла угроза "облысения", — велась массированная подготовка Всесоюзного совещания физиков с намерением перенять опыт лысенковской сессии ВАСХНИЛ 1948 года. Начало совещания было намечено на 24 января, и одной из намеченных жертв был В.Л. Гинзбург, который в октябре 1947 (вместе с биологом А. Жебраком) стал мишенью погромной статьи "Против низкопоклонства" в "Литературной газете".

15 января 1949 Гинзбург направил С.И. Вавилову текст своего выступления на совещании с запиской: "*Мне казалось уместным направить Вам текст моего предполагаемого выступления в прениях по Вашему докладу. Это выступл*[ение] *было мне предложено сделать и предлагаемый его проект обсуждался у нас в ФИАН'е*" [подчеркнуто в документе 14].

Три четверти 17-страничного выступления — которое писалось и обсуждалось без отрыва от термоядерных дел — посвящены "*философии современной физики*", последняя четверть — "*вопросу о борьбе за честь, достоинство и приоритет советской науки*". Гинзбург признал ""*в частности*" [кавычки в оригинале] *себя повинным*" в том, что "*писал работы и не задумывался над тем, не забыл ли где-либо указать или подчеркнуть приоритет отечественной работы; не задумывался над тем, а не создает ли, скажем, популярная брошюра неверного, искаженного представления о роли советской науки, о ее вкладе в данную область*". При этом он упомянул свою популярную брошюру 1946 года "Атомное ядро и его энергия". А заканчивается его выступление цитатой из Сталина — "*не только догнать, но и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны*".

Сейчас уже видна ирония истории, заставившей В.Л. Гинзбурга писать такое во время, когда он вместе с коллегами по ФИАНу "догонял и превосходил" своих американских коллег по термоядерному делу и в своем секретном отчете от 2 декабря 1948 года обеспечил, "в частности", отечественный приоритет в применении дейтерида лития-6. Он при этом ориентировался на Сахаровскую "слойку", отчет о которой датирован 20 января 1949 года!

Хронология термоядерных событий позволяет лучше понять причину загадочно резкого обрыва в подготовке Всесоюзного совещания 16 марта 1949 года, после трех месяцев интенсивных обсуждений, заготовленного проекта решения и пригласительного билета с эпиграфом из Сталина. Совещание должно было начаться (после нескольких переносов) 21 марта, но было отменено без каких-либо вразумительных объяснений. Сохранилось устное предание, что совещание отменили после того, как научное руководство Атомного проекта объяснило политическому руководству вредоносность этого действа для дела создания ядерного оружия.

Это объяснение выглядит особенно убедительным, когда узнаешь, что отчет Гинзбурга от 2 марта назывался "*Использование Li_6D в слойке*", и что 17 марта научный руководитель КБ-11 Ю.Б. Харитон сообщил Берии об успехах группы Тамма [15].

Весной 1950 года Тамм, Сахаров и Романов переместились на Объект. Участники Таммовской группы, оставшиеся по разным причинам в ФИАНе, именовались "группой поддержки". Беленький остался из-за слабого здоровья (он умер в 1956 году в 40 лет), Фрадкин — из-за опасения, что при оформлении допуска к высшей секретности обнаружится, что, сообщая в анкетах о семье, погибшей от рук фашистов, он скрывал арест отца в 1938

году [16]. А Гинзбургу — "низкопоклоннику", незадолго до того женившемуся на репрессированной, — поехать на Объект не разрешили компетентные органы (туда он попал только в 1955 году в составе комиссии по оценке "изделия", основанного на "третьей идее" [17]).

"Группа поддержки" эффективно работала. Беленький и Фрадкин развили метод рассмотрения проблемы устойчивости, важный для оптимизации технических решений ядерных "изделий" [18] , Гинзбург внес свой вклад в развитие работы Сахарова-Тамма по управляемому термояду, который тогда рассматривался прежде всего с военной точки зрения (как нейтронный облучатель для производства ядерной взрывчатки).

В.Л. Гинзбург считает, что "в борьбе с космополитизмом" его спасло именно участие в Атомном проекте [19].

В ФИАНе было "выявлено" четыре космополита: С.Э. Хайкин, С.М. Рытов, Я.Л. Альперт и В.Л. Гинзбург, и 24 мая 1949 года С.И. Вавилов председательствовал на заседании Ученого Совета ФИАНа, посвященном их космополитизму. А то, что именно он не отдавал своих сотрудников на волю компетентных органов, стало ясно после его смерти. Спустя несколько лет из ФИАНа вынудили уйти Хайкина и Рытова, а непокладистого Альперта уволили как "неподходящего для занятий наукой" всего через несколько недель после смерти Вавилова в 1951 году. Чем именно он не подходил, знал по-настоящему только генерал КГБ, держащий тогда в своих руках ФИАН, — слишком этот физик был непочтителен к его погонам, отказавшись сообщить генералу о содержании своей беседы с И.В. Курчатовым осенью 1950 года. Содержанием той беседы был метод обнаружения ядерных взрывов в атмосфере по спектрам генерируемых ими электромагнитных сигналов. Этот метод был использован в докладе советской делегации на Женевской конференции о прекращении испытаний ядерного оружия 1958 года, а на продолжении этой конференции в 1959 году сам Альперт докладывал о воздействии высотных ядерных взрывов на приземную оболочку [20].

ПРИЧИНЫ УСПЕХА ФИАНОВСКОЙ ГРУППЫ

Главная причина успеха — "человеческий фактор" — слишком очевидна и уникальна, чтобы ее обсуждать здесь, — таланты необъяснимы.

Среди причин более общих — унаследованная от Мандельштама атмосфера академически свободного и дружелюбного отношения к поиску решения проблемы без сегрегации фундаментальных и прикладных областей. Свежий взгляд с академической стороны сработал в ситуации, когда группа Зельдовича, работая с самого начала под грузом ГБисткой дисциплины Проекта и требований результата, слишком целенаправленно шла в тупиковом направлении.

А Таммовская группа продолжала жить обычной научной жизнью. Достаточно сказать, что свою наиболее известную работу по теории сверх-

проводимости Гинзбург сделал (совместно с Л. Ландау) в 1950 году, в разгар термоядерных занятий.

Таммовская группа рассматривала прикладные бомбовые проблемы в том же свободном духе, что и чисто теоретические. Это проявилось уже на "филологическом" уровне, — сравним ФИАНовские термины "слойка" и "лидочка" с официальным "РДС" (в обеих дошедших до наших дней расшифровках: "Ракетный Двигатель Сталина" или "Россия Делает Сама") и с "трубой", сухо констатирующей геометрию. Американским физикам хватало чувства юмора ввести в чистой физике термины "кварк", "странность" и "очарование", однако в бомбовой физике, делавшейся за высокими стенами Манхэттенского проекта, в употребление вошли гораздо более претенциозные термины "Classical Super" и "Alarm Clock" (предназначенный разбудить человечество). Быть может, такая серьезность способствовала традиционному, психологически искажающему, переводу "слойки" в американской литературе — "Layer Cake". Дешевая слоеная булочка за 9 копеек сильно отличается от Слоеного Торта.

Свободному и дружному характеру ФИАНовских термоядерных поисков очень способствовал энтузиазм и научный оптимизм руководителя группы — И.Е. Тамма [21]. Сложились вместе личные качества "безнадежного оптимиста" и наследие поколения, сделавшего так много для революции в физике 20 века. Все это помогло преодолеть ощущение безнадежности, характерное для термоядерной проблемы в 1948 году [22].

ИСТОРИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИАНОВСКОГО УСПЕХА

ФИАНовский проект термоядерной бомбы родился незапланированным, в некотором смысле — случайно. Впрочем, в той же мере случайно-необходимо, как делаются и открытия в чистой науке.

То, что в американском проекте выдвигались сходные идеи, но были оставлены из-за технической сложности, дает богатый материал для исторических размышлений. Разные научно-технические возможности, разные мотивации — научные и морально-политические — объясняют и разные пути к ядерному потенциалу сверхдержав.

Из-за того, что "голь на выдумки хитра", советские физики справились с задачей "ручного" расчета "слойки", перед которой отступили американцы в ожидании компьютерной помощи [23]. Из-за этого, видимо, американцы сильно недооценили роль Li_6D как термоядерной взрывчатки [24].

Вопрос о том, была ли "слойка" настоящей термоядерной бомбой или усиленной атомной, — в большой степени вопрос терминологии. Для участников советских работ, в особенности для тех, кто во время испытания 1953 года измерял соотношение образовавшихся изотопов, нет сомнений, что то было термоядерное изделие [25] и что успех слойки обеспечил короткий срок разработки подлинной супер-бомбы, основанной на механизме радиационного давления [26].

И, наконец, говоря об историческом значении ФИАНовского успеха, следует отметить побочный и отдаленный, но не менее, быть может, важный его результат — превращение высокоталантливого физика в общественную фигуру мирового значения.

Судьбы двух российских физиков — П.Н. Лебедева и А.Д. Сахарова — различает очень многое, помимо величин радиационного давления, с которыми им приходилось иметь дело. Однако есть и важная общность: оба были рождены для занятий наукой, и обоих российская жизнь вынудила войти в социальную историю.

Сахаров, находясь в Горьковской ссылке, об этом писал так:

"*Неужели наша интеллигенция так измельчала со времен Короленко и Лебедева? Ведь П.Н. Лебедев не меньше нынешних любил науку, не меньше был связан с университетом, когда ушел после решения министра просвещения Кассо о допущении жандармов на территорию университета (сколько гебистов в МГУ сейчас, известно, наверное, только Андропову)*".

ЛИТЕРАТУРА

1. **Горелик Г.Е., Савина Г.А.** Джонни Гамов — врио замдиректора ФИАНа // Природа. 1993, № 8. С. 82-90

2. **Горелик Г.Е.** Философская подоплека советского атомного проекта // Природа. 1994, № 7. С. 68-78

3. **Гончаров Г.А.** Доклад. HISAP-96. Дубна, май 1996; Основные события истории создания водородной бомбы в СССР и США // УФН, октябрь 1996. Т. 166, № 10. С. 1095-1104; Beginnings of the Soviet H-bomb program // Physics Today, November 1996, p.50-54

4. Интервью с Е.Л. Фейнбергом 30.9.92

5. Интервью с Н.А. Добротиным 3.3.93

6. **Горелик Г.Е.** С чего начиналась советская водородная бомба? // ВИЕТ [Вопросы Истории Естествознания и Техники]. 1993, № 1. С. 85-95

7. **Тамм И.Е.** Внутриатомная энергия // Правда. 1946. 11 апр.

8. **Гинзбург В.Л.** Атомное ядро и его энергия. М., ОГИЗ, 1946, с. 51

9. **Горелик Г.Е.** Черное десятилетие в жизни И.Е. Тамма // Природа. 1995, № 7. С. 110-117

10. **Гончаров Г.А** Loc. cit.

11. **Ритус В.И.** "Если не я, то кто?" // Он между нами жил Воспоминания о Сахарове. Ред.: Б.Л. Альтшулер, Б.М. Болотовский, И.М. Дремин, В.Я. Файнберг. М.: "Практика", 1996

12. Интервью с Е.С. Фрадкиным 21.1.95

13. Интервью с И.Я. Баритом 31.10.92

14. АРАН 596-2-175, л. 30

15. **Гончаров Г.А** loc. cit.

16. Интервью с Е.С. Фрадкиным 21.1.95

17. Интервью с В.Л. Гинзбургом 28.3.92.

18. Интервью с Л.П. Феоктистовым 24.2.95

19. Интервью с В.Л. Гинзбургом 25.9.90

20. Интервью с Я.Л. Альпертом 31.12.94. "Conference of experts to study the possibility of detecting violations of a possible agreement on suspension of Nuclear tests". United Nations, Geneva, 23 July 1958 [EXP/NUC/PV.15/Add.1]. "Conference on the discontinuance of Nuclear Weapon tests." United Nations, Geneva, 10 July 1959 [GEN/DNT/63]

Об этих событиях Я.Л. Альперт рассказал в подготовленной им к печати автобиографической книге "Making Waves. Some stories of my life"

21. Интервью с Ю.А. Романовым 11.11.92
22. Интервью с В.Л. Гинзбургом 28.3.92
23. **Gorelik G.** Lev Landau, prosocialist prisoner of the Soviet state // Physics Today, May 1995, p. 11-15
24. Interview with Hans Bethe, April 13, 94
25. Интервью с Ю.С. Замятниным 18.3.93
26. Интервью с Ю.А. Романовым 11.11.92.

ПЕРВЫЕ АТОМНЫЕ ВЗРЫВЫ В СССР. КАК ИЗМЕРЯЛИ ИХ МОЩНОСТЬ?

В.М. Горбачев

ВВЕДЕНИЕ

Испытание первого атомного заряда в СССР состоялось 29 августа 1949 года. В этом событии сфокусировались многие политические, военные, научно-технические, экологические и другие аспекты общественной жизни страны и мира. В научном плане в полигонном испытании проверяются физические идеи и принципы, расчетно-теоретические обоснования и конструкторские решения ядерного заряда. К моменту первого в СССР атомного взрыва американцами уже была показана принципиальная возможность такого взрыва (испытание 1945 г.). Однако, это был чужой опыт. Работоспособность советского образца атомного заряда еще только предстояло продемонстрировать.

1. ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПЕРВОМ АТОМНОМ ВЗРЫВЕ

Физические измерения при полигонных испытаниях всегда составляли неотъемлемую часть отработки ядерных зарядов.

К первому испытанию была проведена гигантская подготовка. Фактически в очень сжатые сроки в безлюдной казахской степи в 150 км от города Семипалатинска был создан полноценный комплекс для ядерных испытаний — Учебный Полигон № 2 МО СССР, или УП-2 [1], со всеми необходимыми атрибутами нормального функционирования. На этом полигоне проводились ядерные испытания СССР в течение 40 лет с 1949 г. по 1989 г.

Каждое испытание ядерного заряда — это уникальный эксперимент. Физические измерения при взрыве предназначаются для определения основных характеристик ядерного заряда и изучения воздействия многочисленных факторов взрыва на различные объекты. В первом опыте — наземное

испытание — атомный заряд РДС-1 размещался на башне высотой 37,5 м, расположенной в центре испытательной площадки полигона УП-2 МО СССР. Диаметр площадки составлял 20 км. Пространство вокруг башни было разделено на несколько секторов, в которых располагались образцы вооружений и техники различных родов войск, типовые, промышленные, гражданские и инженерные сооружения [1-3].

Сектор физических исследований охватывал угол в 90°. Для размещения регистрирующей аппаратуры по северо-восточному и юго-восточному радиусам на дистанциях от 500 до 8000 м были построены 44 сооружения, в том числе 15 специальных железобетонных башен высотой 20 м, 2 металлические башни высотой 20 м, 17 трехметровых железобетонных башен, подземные казематы [3].

Программа физических исследований имела комплексный характер и важнейшей задачей являлось измерение "коэффициента полезного действия — КПД заряда", т.е. доли "сгоревшего" делящегося материала, заложенного в заряд. (В дальнейшем это определение мощности или тротилового эквивалента взрыва). Для достижения этой цели, в конечном итоге, был предназначен весь измерительный комплекс.

Исследования при первом атомном взрыве проводились по следующим направлениям [2,4]:

- оптические измерения и измерение тепловых потоков взрыва;
- измерение поля гамма-излучения и нейтронных потоков;
- измерение радиоактивности в районе взрыва;
- радиохимические исследования;
- измерение параметров ударной волны и изучение разрушающего действия взрыва;
- изучение воздействия факторов атомного взрыва на различные объекты.

Для реализации этой программы были подготовлены к измерениям около 200 регистрирующих приборов, большое число (несколько тысяч) различных индикаторных датчиков. Вся регистрирующая аппаратура, размещенная в башнях и казематах, имела индивидуальное аккумуляторное питание и автоматически управлялась с командного пункта. Сигналы управления передавались в приборные сооружения по кабелям (длина кабельных трасс составила более 500 км!).

Оптические наблюдения являлись основными. Они предназначались для измерения размеров светящейся области атомного взрыва во времени, спектрального состава излучения и яркостной температуры, полного потока лучистой энергии светящейся области взрыва, размеры несветящегося облака, образовавшегося после взрыва, и др.

В оптических измерениях участвовало более ста оптических приборов, большая часть из которых были разработаны в институтах АН СССР специально к испытанию заряда РДС-1 и имели достаточно высокие параметры [3].

Оптические наблюдения и измерение тепловых потоков позволили изучить область образования ударной волны и её развитие и, что самое главное, определить КПД заряда РДС-1, т.е. мощность взрыва. Результаты измерения размеров облака и скорости его подъема были важны для оценки параметров распространения радиоактивных продуктов взрыва.

Для определения параметров гамма-излучения атомного взрыва применялись вакуумные камеры, воздухо-эквивалентные ионизационные камеры, стеклянные индикаторы, фотоиндикаторы, дозиметрические индикаторы и др., в общей сложности — более 3500 детекторов и индикаторов гамма-излучения. Источником гамма-излучения являлись как радиоактивные продукты взрыва, смешанные с верхним расплавленным слоем почвы, так и радиоактивные продукты, уносящиеся с облаком в верхние слои атмосферы. Были измерены дозы гамма-излучения на разных расстояниях, оценена "жесткость", т.е. спектральный состав гамма-излучения и время его действия, а также гамма-активность облака и общее количество энергии гамма-излучения взрыва. Эта информация позволила оценить нижнее значение КПД, определить поражающее действие гамма-излучения взрыва и эффективность защитных устройств.

Нейтронные измерения предназначались для определения полного количества нейтронов, образовавшихся при взрыве, а также пространственного распределения нейтронов разных энергетических групп в воздухе, на поверхности грунта и при заглублении. Более 2000 нейтронных индикаторов были размещены на поверхности земли, на тросах привязных аэростатов, а также в трубах, заглубленных в землю и направленных на заряд с расстояний 50-200 м. Для временных измерений были использованы борные ионизационные камеры. К сожалению, незадолго до взрыва сильные порывы ветра сорвали аэростаты, и информация с индикаторов, закрепленных на тросах, не была получена.

По совокупности полученных данных от большого числа "наземных" индикаторов (пространственное распределение быстрых и медленных нейтронов, доза нейтронов и др.) был оценен КПД РДС-1.

Радиохимические исследования планировались для оценки КПД атомного взрыва по соотношению между количеством образовавшихся осколков деления и массой "заложенного" в заряд плутония по анализу проб, взятых из радиоактивного облака с помощью беспилотных самолетов после взрыва, а также по радиоактивности местности в зоне взрыва и по следу облака. Из-за неблагоприятной погоды в день опыта полеты осуществить не удалось и отбор воздушных проб не проводился. Вместе с тем анализ радиоактивных проб грунта, взятых со следа облака, позволил определить КПД заряда.

Большое значение при подготовке опыта придавалось измерению параметров ударной волны, таких как скорость распространения фронта ударной волны, максимальное давление, характеризующие нагрузки на сооружения, продолжительность действия избыточного давления на сооружения и др.

Использовались как приборы, дающие запись во времени, так и индикаторные, измерявшие только максимальные значения давления.

Сопоставляя полученную для атомного взрыва эмпирическую зависимость давления от расстояния (на "базе" 500—2000 м) с аналогичными данными для взрывов тротила, определили массу тротила, эквивалентную по ударной волне атомному взрыву. Так возникло понятие "тротиловый эквивалент атомного взрыва".

Испытание атомного заряда РДС-1 прошло успешно. Комплекс физических исследований в этом опыте, проведенных по оптическим методам, по ударной волне, радиохимии, по гамма-нейтронным измерениям, позволил определить полное энерговыделение заряда РДС-1.

Результаты испытания РДС-1 показали, что редакция опыта и примененные методы физических исследований обеспечивают получение необходимой информации о работе атомного заряда, дают ответ на многие принципиальные вопросы. Вместе с тем была показана необходимость совершенствования измерительного комплекса, поскольку некоторые измерения не были реализованы в запланированном объеме (обрыв тросов аэростатов, невозможность извлечения нейтронных индикаторов из заглубленных труб, срыв полетов управляемых самолетов для забора воздушных радиоактивных проб и др.).

В целом важность опыта с зарядом РДС-1 заключалась в том, что была продемонстрирована возможность создания в СССР ядерного оружия, и тем самым была ликвидирована монополия США в этой области вооружений и обеспечивался военно-стратегический паритет двух сверхдержав мира.

2. РАЗВИТИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА. ПЕРЕХОД К ВОЗДУШНЫМ ИСПЫТАНИЯМ

Второй опыт с атомным зарядом был проведен в 1951 году также в наземной редакции — взрыв на башне высотой ~ 37,5 м в центре восстановленного после испытания 1949 года опытного поля. Этот эксперимент явился прототипом организации комплекса измерений на последующий период. Основой явились методы измерений и опыт работы, полученные в 1949 году. Вместе с тем программа исследований была усилена включением принципиально новых методов. Было предусмотрено изучение кинетики ядерной реакции, измерение времени от момента инициирования ВВ до начала ядерного взрыва, изучение интенсивности гамма-излучения облака во времени. Этот заряд разрабатывался как авиабомба. Поэтому применительно к будущим воздушным испытаниям проверялось действие взрыва на самолет, который предназначался в качестве носителя.

Были предъявлены более жесткие требования к точности измерений. Общий объем измерений по сравнению с опытом 1949 года был увеличен. В общей сложности было установлено 232 регистрирующих прибора (45 осциллографов, 18 самописцев давления, 73 кино- и фотоаппарата). На

поле размещались 1250 индикаторов гамма-излучения, 2050 нейтронных индикаторов, большое количество индикаторов давления ударной волны [2].

Программа исследований была в основном выполнена. Тротиловый эквивалент взрыва заряда был определен двумя основными методами: по размерам и температуре огненного полушария в начальной стадии взрыва и по радиохимическому анализу проб продуктов взрыва, взятых из радиоактивного облака с помощью специальных самолетов.

Важное значение для измерительного комплекса, с точки зрения расширения объема измерений, имел опыт с первым советским термоядерным зарядом РДС-6с. (Наземное испытание 1953 г. на башне).

Основными задачами испытания являлось установление факта протекания термоядерной реакции в заряде нового типа, определение параметров термоядерного взрыва, доказательство, что основная доля делений обусловлена термоядерными нейтронами, а также изучение воздействия факторов взрыва на различные объекты [2,4].

В опыте были применены новые методы для определения параметров термоядерной реакции, в первую очередь, для измерения потоков и полного числа термоядерных ДТ-нейтронов, изучения кинетики термоядерных реакций по временно́му ходу гамма-излучения и излучения нейтронов с энергией 14 МэВ, а также изучения радиохимическими методами эффекта перемешивания термоядерных материалов с конструкционными. Для изучения кинетики по ДТ-нейтронам были, в частности, разработаны протонные монохроматоры, которые из-за низкой эффективности регистрации располагались в подземном каземате в ~ 15 метрах от башни. Успешный , с точки зрения энерговыделения, результат взрыва привел вместе с тем к полному разрушению сооружений с этими монохроматорами: они оказались в глубокой воронке.

Потоки ДТ-нейтронов определялись пороговыми индикаторами. По гамма-излучению информация о кинетике термоядерной реакции была получена с помощью новых электронных детекторов и скоростных осциллографов.

Тротиловый эквивалент был определен по размерам и температуре огненного полушария, по параметрам ударной волны и гамма-излучению взрыва. Кроме того, энерговыделение заряда РДС-6с определялось относительным способом, сравнением с хорошо изученным взрывом, проведенным в 1951 году в аналогичных условиях.

Радиохимический анализ проб, взятых из облака взрыва, из приземного слоя, а также из грунта по следу облака показал, что взрыв был термоядерным.

Рассмотренные выше испытания проводились в наземном варианте. Первый воздушный опыт состоялся в 1951 году. Основной особенностью этого опыта являлось то, что светящаяся область огненного шара впервые имела правильную шаровую поверхность, а не полусферу, как в наземных опытах. Это позволяло определить энергию взрыва с большей точностью.

Рассмотренные постановка и результаты опытов с первым зарядами определили структуру физических измерений на период испытаний в атмосфере до 1963 года. В таблице приведены результаты измерения мощности первых зарядов СССР, испытанных до 1954 года [5-7].

Таблица

Характеристики первых ядерных зарядов СССР, испытанных до 1954 года [5-7]

Дата испытания	Тип заряда	Редакция опыта	Мощность взрыва, кттэ	Комментарий
29.08.49	атомный	наземный на башне	22	Первое атомное испытание СССР
24.09.51	атомный	наземный на башне	38	Расширенная программа физических измерений
18.10.51	атомный	воздушный	42	Первое воздушное испытание СССР, сброс авиабомбы
12.08.53	термоядерный	наземный на башне	400	Первый термоядерный взрыв СССР
23.08.53	атомный	воздушный	28	Реализация неискажённого огненного шара
03.09.53	атомный	воздушный	5,8	
08.09.53	атомный	воздушный	1,6	
10.09.53	атомный	воздушный	4,9	

Из таблицы видно, что измерительный комплекс обеспечивал измерение мощности атомных и термоядерных зарядов в широком диапазоне мощности от нескольких до 400 кттэ — при разных редакциях испытаний. В общей сложности этим комплексом проведены измерения в 32 наземных и 177 воздушных взрывах.

3. МОСКОВСКИЙ ДОГОВОР И ПОДЗЕМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В 1963 году в Москве был заключен договор о запрещении ядерных испытаний в трех средах — в атмосфере, космосе и под водой. Такая новая постановка проблемы испытаний потребовала новых редакций экспериментов, решения новых технологических задач, разработки новых экспериментальных методов исследований. Подземные испытания могут проводиться либо в штольнях (туннелях), либо в скважинах. Трансформация комплекса физических измерений в первую очередь была обусловлена невозможностью применения в подземных условиях оптического метода измерения мощности заряда по параметрам огненного шара.

В шестидесятые годы была проведена "мозговая атака" с целью создать новый метод определения энерговыделения с точностью близкой к точности метода огненного шара, использовавшегося в воздушных опытах. Рассмат-

ривалась возможность проведения ядерных взрывов в веществах с разной плотностью с хорошо известными уравнениями состояния. Специалистами ВНИИЭФ и ВНИИТФ было показано, что в качестве измерительной среды можно использовать горные породы, окружающие бокс в штольне, в котором помещен заряд. Это легло в основу гидродинамического метода измерения мощности [8].

Вместе с тем, проведение опытов под землей (в штольнях) создало благоприятные условия для применения на качественно новом уровне методов регистрации проникающих излучений — гамма- и нейтронного. Этому способствует фиксированная "хорошая" геометрия, коллимированные пучки и др.

Гидродинамический метод определения мощности взрыва при подземных испытаниях является основным. Метод основан на измерении времени прихода фронта ударной волны на определенное расстояние от центра взрыва в среде (грунте) с хорошо известным уравнением состояния. Применяются два способа регистрации — с помощью контактных датчиков, либо путем импульсного зондирования положения фронта ударной волны. В любом случае определяется (r-t) — зависимость движения фронта ударной волны в породе. Для определения энерговыделения ядерного заряда необходимо знать зависимость $E = f(r,t)$, различную для разных пород и особенностей опыта.

Для опытов в скважинах возможны две редакции измерений — по регистрации фронта ударной волны в забивочном материале основной ("боевой") скважины, или скважины заложения заряда, либо по измерениям во вспомогательной измерительной скважине, пробуренной на некотором расстоянии (~ 10 м) от основной. Контактные датчики (или кабель-датчики системы "КОРРТЕКС") размещаются на специальной штанге в зоне распространения ударной волны [8].

Гидродинамический метод измерения мощности прошел апробацию в совместных советско-американских экспериментах по контролю по программе СЭК. (Опыт на Невадском полигоне 17.08.88 г. и на Семипалатинском полигоне 14.09.88 г.).

4. ДВЗЯИ И НОВЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Последний ядерный взрыв в СССР состоялся на Новоземельском полигоне 24 октября 1990 г. Прекращение ядерных испытаний явилось важным вкладом Советского Союза в проблему разоружения. В правовом отношении решению этой проблемы во многом может способствовать готовящийся к подписанию[1] Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Нужно отметить, что само по себе запрещение ядерных испытаний

[1] Как известно, Российская Федерация подписала ДВЗЯИ в конце 1996 г.

не влияет на проблему нераспространения ядерного оружия (примитивные ядерные заряды можно создать и без испытаний). Однако наличие ДВЗЯИ несомненно будет сдерживать распространение ядерного оружия. В рамках ДВЗЯИ большое внимание уделяется созданию механизма контроля за возможными ядерными взрывами. И важнейшим фактором этого контроля является Международная система мониторинга — МСМ, содержащая необходимые технические методы и средства. Основные требования к системе мониторинга МСМ были четко определены в позиции Российской Федерации, представленной на конференции в Женеве по разоружению. Они сводятся к следующему.

МСМ должна обеспечивать контроль за возможными взрывами в любой среде (в космосе, в атмосфере, на поверхности земли, под землей, под водой). Все государства — участники договора должны иметь равный доступ к информации от международных технических средств контроля. Набор этих средств должен быть достаточным для всеобъемлющего контроля, неограниченным, чтобы экономические затраты не были обременительны для участников договора. Необходимо широко использовать для повышения эффективности контроля информацию национальных технических средств и международных организаций.

Какие методы целесообразно применять в МСМ? Естественно, в первую очередь, которые применялись для определения параметров ядерных взрывов. На начальном этапе формирования МСМ фигурировали ~ 10 методов, которые могли бы способствовать контролю за соблюдением ДВЗЯИ:

- сейсмический метод;
- мониторинг радиоактивности атмосферы;
- гидроакустический метод;
- измерение инфразвука;
- измерение электромагнитного излучения взрыва;
- измерение светового излучения;
- измерение ионосферных возмущений;
- измерение вариаций магнитного поля;
- спутниковые наблюдения;
- спутниковый контроль.

Эти методы, в принципе, обеспечивают контроль за ядерными испытаниями в любой среде. Был проведён детальный анализ фактического состояния отработки и эффективности перечисленных методов с учетом разумности затрат на создание и функционирование системы контроля. При этом также учитывалась необходимость соблюдения национальной безопасности и суверенитета государств-участников ДВЗЯИ. Это позволило выявить наиболее оптимальный вариант построения МСМ. Было признано целесообразным включить в систему глобального мониторинга следующие методы:

- сейсмический метод — для контроля подземных, подводных и, в меньшей степени, воздушных испытаний;

- радионуклидный метод — для контроля атмосферных, подводных и, в меньшей степени, подземных испытаний;

- гидроакустический метод — для контроля подводных и надводных взрывов;

- инфразвуковой метод — для контроля атмосферных (над поверхностью суши) взрывов.

Для контроля за возможными взрывами в космосе признано на начальном этапе внедрения МСМ ограничиться национальными средствами контроля (спутниковый контроль, измерение электромагнитного импульса взрыва, ионосферный метод, вариации магнитного поля и др.)

В системе контроля за соблюдением ДВЗЯИ важную роль играет также инспекция на местах по запросу (ИНМ). Здесь наиболее эффективны радиационные измерения (в частности, контроль радиоактивных благородных газов), геофизические методы, проведение бурения в область вблизи центра взрыва. Таким образом, и в условиях действия ДВЗЯИ сохраняется важная роль физических измерений. Но трансформируется их назначение. Если до запрещения ядерных взрывов (эпоха до подписания ДВЗЯИ) физические измерения предназначались для определения параметров ядерного заряда и эффектов взрыва, то в новых условиях методы физических измерений решают противоположную задачу — контроль за непроведением ядерных взрывов. Изменяется набор методов исследований и усиливаются требования к их чувствительности и надежности измерений.

В условиях действия ДВЗЯИ методы измерений начинают новую жизнь.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жучихин В.** Первая атомная. ИздАТ. Москва, 1993.

2. Советский атомный проект. Под ред. Е.А. Негина. Издат. "Нижний Новгород", Нижний Новгород — Арзамас-16, 1995.

3. Первая Советская ядерная бомба. Гл. ред. Михайлов В.Н., М. Энергоатомиздат, 1995.

4. Хочешь мира — будь сильным! Сб. материалов конференции по истории разработок первых образцов атомного оружия. Научный консультант Е.А. Негин, РФЯЦ-ВНИИЭФ, Арзамас-16, 1995.

5. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949-1990 гг. Авторы: И.А. Андрюшин, В.В. Богдан, С.А. Ващинкин, С.А. Зеленцов и др. под рук. В.Н. Михайлова. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 1996.

6. **Харитон Ю.Б., Адамский В.Б., Смирнов Ю.Н.** О создании советской водородной (термоядерной бомбы). УФН, т.166, № 2, 1996.

7. **Гончаров Г.А.** Основные события истории создания водородной бомбы в СССР и США. УФН, т. 166, № 10, с. 1095, 1996.

8. **Волошин Н.П., Симоненко В.А.** Совместный эксперимент по контролю (Из истории ядерных испытаний). Атом, 1995, № 1, с. 11; Атом, 1996, № 1, с. 21.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ И ГОРЕНИЯ В ТЕРМОЯДЕРНОМ ИЗДЕЛИИ (1948—1960 гг.)

В.Я. Гольдин

Первым этапом расчетов размножения нейтронов (проходивших до наших работ) было нахождение нейтронных сечений и определение критических размеров. Для этого решалось уравнение Пайерлса.

В модели атомного взрыва, предложенной Л.Д. Ландау, Е.М. Лившицем, И.М Халатниковым, взрыв описывался системой обыкновенных дифференциальных уравнений для средних (по пространству) величин (система ЛЛХ). Число нейтронов N описывалось в λ-приближении уравнением:

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(t)N$$

Здесь $\lambda(t)$ — собственное значение уравнения Пайерлса. Оно определяется параметрами изделия (плотностью, концентрацией, размерами), которые зависят от времени. Численное решение уравнения Пайерлса для характерных конфигураций позволило построить интерполяционную формулу для λ. Эти работы выполнялись по заданиям Е.М. Лившица и И.М. Халатникова (1948 г.).

Стоит отметить любопытный момент. В работе Пайерлса были построены уравнения в случае малых и больших (β/α - 1) и найдены асимптотики для λ. Оказалось, что λ_{ac} ближе к точному λ, чем λ, найденное точно из приближенного уравнения.

Тогда же по поручению А.Н. Тихонова я провел проверку приближенной системы (ЛЛХ). При этом я написал полную систему уравнений взрыва и из нее получил систему ЛЛХ, используя приближения, принятые в ней (1948 г.).

Для расчета полной системы А.Н. Тихонов и А.А. Самарский разработали разностные методы. А.А Самарский в 1948 г. предложил и испытал разностную схему для нестационарного уравнения переноса. Эта схема учитывала направление полета нейтронов (характеристик), была монотонной и имела первый порядок аппроксимации. Расчеты показали, что λ и распределение нейтронов соответствуют решению уравнения Пайерлса. Недостатком схемы, который был понят значительно позже, была неконсервативность и первый порядок точности.

Эта схема в одногрупповом приближении была использована А.Н. Тихоновым и А.А. Самарским в разностной методике для полной системы уравнений взрыва. В результате в 1949 г. были получены первые полные расчеты сначала для голого шара, а затем и для шара с оболочкой. Эти расчеты выполнялись бригадой вычислителей с распараллеливанием вычислений под руководством А.А. Самарского.

Новый этап развития методов расчета переноса нейтронов и горения связан с разработкой термоядерного изделия (1950 г.). Сильное усложнение конструкции, усложнение спектра нейтронов, появление источников нейтронов потребовали перехода к трехгрупповому приближению и существенного увеличения точности, что было нереализуемо для применявшейся схемы переноса. В это время (1950 г.) Ю.А. Романов разработал усовершенствованный диффузионный метод (УДМ), в котором существенно увеличивалась точность по сравнению с диффузией и уменьшалась трудоемкость по сравнению с прямым расчетом уравнения переноса для стационарной задачи. Вводимые внутренние экстраполированные длины и переход к нестационарным задачам сильно осложняли методику. Ю.А. Романов предложил нейтронные константы для трехгруппового приближения. Были также предложены данные для скорости термоядерного горения. Позднее эти данные были аккуратно пересчитаны Б.Н. Козловым. К этому времени А.А. Самарский предложил использовать законы сохранения для получения разностных схем (консервативные разностные схемы). Это позволило нам (А.Н. Тихонову, А.А. Самарскому, мне, Н.Н. Яненко, Б.Л. Рождественскому) разработать консервативные разностные схемы для всей задачи, в том числе и для УДМ в трехгрупповом приближении.

При расчетах уравнений УДМ возникли трудности, связанные с большими оптическими толщинами. Для необходимой точности требовалась подробная сетка. На рабочем обсуждении А.Н. Тихонов предложил при построении разностной схемы использовать аналитические решения. Это привело Б.Л. Рождественского к построению консервативной разностной схемы с квазианалитической интерполяцией и позволило уменьшить число необходимых интервалов. Это было особенно важно в то время, когда не было ЭВМ.

Для ускорения особенно трудоемких трехгрупповых расчетов я использовал частичное закрепление профилей и осреднение уравнений по областям.

Это вызвало возражение на комиссии 1952 г. Однако дальнейший полный расчет подтвердил результаты приближения.

Для расчета прохождения нейтронов до первого столкновения вначале нами использовалось аналитическое решение, а для интегрирования его по углам — модифицированные Б.Л. Рождественским квадратуры Гаусса.

Мной была предложена для этого расчета консервативная разностная схема на прямоугольной сетке ($r\mu$), однако при расчете мы столкнулись с сильной немонотонностью и отказались от схемы. Впоследствии я вернулся к ней для полного уравнения после появления ЭВМ в 1957 г. И.М. Соболь тогда предложил схему интегрирования по характеристикам. Однако оказалось, что ранее такая схема была построена В.С. Владимировым во ВНИИЭФе (1951 г.).

Серьезные сложности вызывались сильной нелинейной связью между скоростью термоядерного горения и температурой. Здесь мной были разработаны быстро сходящиеся схемы.

Все это позволило в короткий срок провести расчет нескольких вариантов слойки. Успешное испытание подтвердило оправданность нашей модели.

Следующий этап был связан с переводом расчетов на ЭВМ "Стрела". Этот перевод потребовал однородности схем, здесь большие затруднения были связаны с нестандартностью УДМ. Тем не менее путем небольших приближений весь алгоритм удалось перевести на ЭВМ в короткое время. Отмечу, что важную роль сыграло уточнение нейтронных констант, проведенное Г.А. Гончаровым (ВНИИЭФ).

Все это позволило в короткий срок провести расчеты нового изделия. Успешное испытание 1955 г. подтвердило идеи физиков и хорошее качество алгоритмов.

Разработка новых, более тонких изделий требовала уточнения математического описания переноса. Переход на ЭВМ дал возможность вернуться к уравнению переноса. При этом нужно было создать методы расчета и уточнить исходную модель.

Необходимо было учесть движение среды и уточнить сечения. Первая модель учета движения среды на микроскопическом уровне была предложена еще в начале 50-х годов В.Н. Климовым (ВНИИЭФ). Однако она была слишком сложна для реализации. В 1955 г. мною была предложена модель полного увлечения нейтронов средой. Эта модель была введена нами в расчеты и использовалась длительное время. Позднее, в 60-х гг., Г.А. Гончаровым (ВНИИЭФ) была предложена более точная модель учета движения среды. Она содержит производную функции распределения по энергии, что сильно затрудняет ее использование.

Для перехода к прямому расчету уравнения переноса важно было построение тестов, позволяющих проверять точность.

Б.Л. Рождественский и А.А. Самарский предложили безитерационный способ численного построения стационарных решений для задачи, близкой к изучаемой.

В 1957 г. мною была предложена и опробована консервативная разностная схема *КВ-7* второго порядка аппроксимации (которую раньше я пытался применять для расчета в 1952 г.) для нестационарного уравнения переноса нейтронов в приближении полного увлечения. Схема оказалась консервативным аналогом S_n — схемы Карлсона. Было показано, что схема хорошо передает интегральные величины ($\lambda R_{кр}$,), однако теряет монотонность при большой крутизне решения (на фронтах, вблизи контактных границ и др.), вплоть до появления отрицательных значений.

Мною был найден вариант, позволивший повысить монотонность за счет локального перехода к схеме первого порядка в зонах большой кривизны. Вначале расчеты велись в одногрупповом варианте, а с 1959 г. *(КВ-23)* — в трехгрупповом варианте. Соответствующие программы создавались Т.А. Горбушиной, Л.В. Гончаровой, Г.В. Даниловой, Д.А. Сидоровой. Эта схема с малыми вариациями была основной у нас, во ВНИИЭФ и ВНИИПМ до перехода к двумерным геометриям. Эта же схема использовалась в стационарных вариантах для нахождения λ и собственных функций, а также для задач с источниками в многогрупповых приближениях (*КН-7*).

Сравнение этой схемы с методом характеристик Владимирова показало, что, несмотря на немонотонность, схема *КН-7* дает существенно лучшие результаты для интегральных величин. Этот факт, как мы поняли в дальнейшем, объясняется неконсервативностью схемы Владимирова. (Впоследствии В.Е. Трощиевым (ВНИИЭФ) был построен консервативный вариант схемы Владимирова — метод трубок, в котором точность увеличилась.)

Наличие немонотонностей заставило искать другие варианты. В 1959-60 гг. мною была предложена схема характеристик с интерполяцией для стационарных и нестационарных задач (в американской литературе аналогичная схема получила название метода коротких характеристик). При этом для нестационарных задач была предложена характеристическая неявная схема, разрешающаяся без итераций, не имеющая ограничений на шаг. Однако, как и схема Владимирова, эти схемы давали недостаточную точность за счет неконсервативности.

Во всех этих схемах (кроме неявной характеристической) возникала проблема сходимости итераций. В.С. Владимиров для ускорения сходимости предложил использовать метод Люстерника. В нестационарных задачах для сохранения второго порядка точности достаточно делать две итерации. Однако это приводило к нарушению балансов. Поиск решения этих проблем привел меня к созданию квазидиффузионного метода (1963-64 гг.), а затем к построению монотонных схем повышенного порядка точности для нестационарного уравнения переноса.

В квазидиффузионном методе от разностных схем для уравнения переноса не требуется консервативности, но важна их монотонность. Квазидиффузионный метод обеспечивает высокую скорость сходимости итерационного процесса как для задач с источниками, так и для задач на собственные значения. В нестационарных задачах он обеспечивает эффективное понижение размерности за счет уменьшения зависимости от энергии и угловых переменных.

Отмечу также работы С.К. Годунова, И.А. Адамской и Г.А. Прокопова по методу сферических гармоник и использованию вариационного метода В.С. Владимирова для нахождения критических параметров. Из более поздних работ отмечу использование В.Е. Трощиевым и Р.М. Шагалиевым метода балансного зануления в немонотонных схемах, построение В.Е. Трощиевым согласованной схемы для квазидиффузионного метода и метода ускорения сходимости с помощью квазидиффузионных поправок. Развитие всех этих работ привело к созданию методов для двумерных задач В.Е. Трощиевым, Р.М. Шагалиевым и А.Д. Гаджиевым, а также трехмерных — Р.М. Шагалиевым.

Развитие методов решения уравнения переноса для расчета атомных и термоядерных изделий послужило базой для других направлений:

1) для расчетов реакторов;

2) на этой же основе были развиты методы решения задач радиационной газовой динамики. Здесь очень важную роль сыграло эффективное понижение размерности задачи при использовании квазидиффузии. В настоящее время нами создана двумерная методика совместного решения уравнения переноса излучения и уравнения энергии вещества в сложной двумерной геометрии;

3) развитие идей реакторов нового типа.

В 1988 г. Л.П. Феоктистов выдвинул идею реактора с саморегулируемым нейтронно-ядерным режимом. Меня заинтересовала эта идея. В 1992-95 гг. я и Д.Ю. Анистратов рассмотрели математическую модель нейтронно-ядерных процессов. Были разработаны методы совместного решения нестационарного уравнения переноса в квазидиффузионной форме, реакторной кинетики и выгорания и изучен саморегулируемый нейтронно-ядерный режим (СНЯР). Метод реализован в одномерной геометрии, но пригоден для трехмерной. Приведу некоторые важные выводы из математического моделирования безопасного реактора.

В быстром уран-плутониевом реакторе можно выбрать такие исходные размеры и концентрацию урана-238 и плутония-239, что в реакторе при большом выгорании отклонение реактивности от нуля в течение длительного времени без управления меньше 10^{-7}. При этом возможны режимы, когда практически горит дешевый U-238, возможен также режим выжигания Pu-239 и актинидов.

Если удастся создать технологию разделения актинидов ($A>230$) и осколков ($A<170$), то эти актиниды возможно дожигать без разделения. Допустимо попадание осколков (~1 %) в смесь актинидов. Однако нужна минимизация попадания актинидов в смесь осколков и конструктивных материалов для снижения радиоактивности отходов.

ЗАРОЖДЕНИЕ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Ю.К. Завалишин

Руководители советского атомного проекта хорошо понимали, что для оснащения армии, авиации и военно-морского флота новым видом оружия — ядерным, нужно создать новую отрасль промышленности. Ещё до испытания первой советской атомной бомбы (как известно, она была взорвана 29 августа 1949 года) в 1947 году началась проработка вопросов строительства серийного завода по выпуску ядерного оружия.

Задача ставилась серьезно и обстоятельно — производить ядерное оружие в таком количестве и качестве, которые исключали бы в силу особенностей этого оружия саму возможность его применения в отношении СССР.

Именно этим, как представляется, объясняется столь ранняя постановка и решение вопроса о строительстве серийного предприятия по производству атомного оружия.

Не менее важным является еще один аспект. Несмотря на тогдашнюю, связанную с последствиями тяжелейшей войны, ограниченность возможностей и ресурсов, проблема "серии" с самого начала не рассматривалась как строительство единственного предприятия. Речь шла о необходимости формирования целой их системы, как подотрасли ядерно-оружейного комплекса.

Одним из первых практических вопросов был вопрос размещения первого серийного предприятия по производству атомного оружия.

Решение по этому поводу окончательно определилось к осени 1948 года. В октябре этого года начальник КБ-11 П.М. Зернов получил от начальника Первого Главного Управления Б.Л. Ванникова секретное письмо, в котором говорилось о целесообразности развёртывания строительства первого серийного завода на территории КБ-11.

В пользу строительства серийного завода на территории КБ-11 говорил ряд обстоятельств. Ко времени, о котором идёт речь, на атомном объекте уже была создана и действовала мощная строительная организация, огромными усилиями была построена и начала функционировать опытно-экспериментальная база. Это обеспечивало возможность подготовки как инженерно-технических, так и рабочих кадров для серийного предприятия. Сами разработчики — теоретики, экспериментаторы и конструкторы находились тут же и в любой момент на этапе становления производства и запуска специзделий в серию могли оперативно оказать квалифицированную помощь.

Немаловажным фактом являлось и то, что объект, его территория уже обрели статус сверхзакрытой зоны, огражденной от внешнего мира надежной системой защиты.

Первые документы, касавшиеся строительства нашего предприятия, говорят о том, что по первоначальным прикидкам ориентировочная стоимость этого проекта оценивалась суммой не более 60 миллионов рублей. Предполагалось, что на заводе будут работать приблизительно 3 тысячи человек.

Руководство КБ-11 в течение месяца подготовило соответствующие конкретные предложения и документы. Они касались очередности развертывания основных производств серийного завода и состава его будущих кадров. Интересно, что перечень необходимых основных и вспомогательных цехов и лабораторий был откорректирован и подписан Ю.Б. Харитоном.

В декабре 1948 года вопрос о строительстве завода обсуждался на высшем уровне руководителей атомного проекта в Москве. Итогом этого обсуждения стало Постановление Совета Министров СССР, которое было подписано И.В. Сталиным и датировано 3 марта 1949 года.

В Постановлении указывался срок строительства — 1949-1950 гг., место расположения — в зоне объекта 550 (так шифровался тогда КБ-11) и производственная мощность — 20 единиц РДС в год. Завод было указано именовать: ремонтный цех Приволжской конторы Главгорстроя СССР. Проектирование было возложено на Ленинградский Гипрострой Главгорстроя, а строительство — на Министерство внутренних дел СССР.

В составе КБ-11 наше предприятие находилось со дня основания и до 1957 года. 25 мая 1957 года был подписан приказ Министра среднего машиностроения №294 и завод стал самостоятельным предприятием, покинув "родительский кров" КБ-11 — ВНИИЭФ.

Начиная с декабря 1966 года, предприятие получило открытое наименование Электромеханический завод "Авангард".

В летние дни 1949 года в густых заповедных лесах Мордовии появились первые геодезисты. Они расставляли вешки, прокладывали трассы шоссейной и железной дорог, определяли границы участка, на котором предстояло возвести завод. Вслед за геодезистами шли лесорубы, которые валили и вывозили вековой сосновый бор.

Основные строительные работы производились заключенными. Два больших лагеря за колючей проволокой располагались рядом со стройплощадкой. Завод так же, как и КБ-11, строили силами Главпромстроя МВД СССР.

Согласно первоначальному плану, основные сооружения завода, рассчитанные на ежемесячный выпуск двух-трех бомб типа РДС, должны были войти в строй к декабрю 1950 года. Но этот срок, как показала практика, оказался нереальным.

По новым контрольным срокам ввод в действие основных сооружений завода должен был состояться во второй половине 1951 года. В ту эпоху один раз наверху еще могли учесть объективные трудности. Но надеяться на второе проявление подобной лояльности не рискнул бы никто. Строители и монтажники понимали это очень хорошо, а потому начиная с конца 1950 года и на протяжении всего следующего года развернулась настоящая "битва" за пуск предприятия.

Общее количество зданий, введённых в действие к концу 1951 года, составило 16. В их число входили механосборочный, ремонтно-механический, электромонтажный, механический, котельно-сварочный и ряд других цехов, а также центральная заводская лаборатория, заводоуправление, котельная, погребки для ВВ и склады.

К этому времени много было сделано и в вопросе кадрового обеспечения строящегося предприятия. Задача была далеко не простой. И не случайно к её решению приступили намного раньше, чем начали сдавать первые цехи завода.

Главным резервом кадров нашего предприятия стало КБ-11. Руководящие должности были в основном укомплектованы работниками секторов и опытных заводов Ядерного Центра. Немало было взято на новое предприятие и квалифицированных рабочих, мастеров, инженерно-технических работников. Конечно, в целом проблему кадров "перекачка" людей из КБ-11 не решала. Многих предстояло завезти из-за зоны. Центром по подбору кадров рабочих и ИТР для нового завода стал отдел кадров КБ-11. Кадровый набор на первое серийное предприятие шел на многих предприятиях страны. Отбирали опытных, грамотных производственников разного профиля. Часть работников прибыла на завод по мобилизационным спискам, которые составлялись на местах. Курировали все вопросы, связанные с этим, как правило, партийные комитеты разных уровней от ЦК ВКП(б) до парткомов предприятий. Кроме критерия профессионализма и мастерства, принимался во внимание и фактор так называемой надежности. Случайные люди в подобные списки попасть не могли.

Учитывая особенности в деятельности завода, сразу же была придумана система специальной подготовки вновь прибывших на объект. Они проходили стажировку на опытных заводах и в лабораториях КБ-11. Что касается ИТР, перешедших из КБ-11, то они уже знали специфику дела, имели некоторый

опыт, приобретенный ими при разработке и создании опытных образцов специзделий.

Несомненно, положительным моментом в истории становления и развития нашего предприятия явилось его зарождение в недрах ВНИИЭФ. Это не только облегчало задачу подбора и подготовки кадров, но и содействовало быстрому промышленному освоению идей разработчиков, благодаря постоянным и тесным контактам с ними. Была и другая очень важная сторона — научно-техническое руководство КБ-11 поднимало "планку" требовательности к глубине проработанности всех технических и технологических вопросов на первом серийном атомном предприятии на высокий уровень. А это, в свою очередь, способствовало формированию на заводе по-настоящему творческого климата, побуждало людей постоянно пополнять и расширять свои специальные знания.

В декабре 1951 года первые три серийные атомные бомбы РДС-1 "вышли" с предприятия. Это была победа, настоящий прорыв в деле создания ядерного щита Родины.

Надо, однако, отметить, что никаких особо победных реляций по поводу первого успеха не прозвучало. Этот факт воспринимался, судя по всему, далеко не как завершение напряженной работы. Причина заключалась, очевидно, в том, что на РДС-1 смотрели уже как на "вчерашний день". На очереди были более совершенные конструкции, которые предстояло вводить в серию.

Уже 29 декабря 1951 года было принято Постановление Совета Министров СССР о расширении завода № 551 и строительстве его новых цехов.

Первыми подразделениями, созданными на заводе, были — отделы главного технолога, технического контроля, центральная лаборатория, заводская и центральная измерительная лаборатория.

Надо сказать, что технологической службе предприятия приходилось решать очень широкий круг проблем от механической обработки простых и сложных деталей из необычных материалов до разнообразных вопросов, касавшихся изготовления и сборки узлов автоматики и радиоконтроля, сборки и контроля самих изделий.

Серийный технологический процесс сборки атомного заряда создавался трудно. Сложен был переход от изготовления опытного заряда к серийному. Каждая строчка технологического документа обсуждалась и согласовывалась с разработчиками заряда. Разрабатывались и внедрялись сборочные стенды, имеющие специальные страховочные устройства, обеспечивающие безопасность работ. Подбирались материалы и покрытия для деталей стендов, оснастки и инструмента, позволяющие безопасно работать со взрывчатыми веществами.

Безусловно, и я хочу это особо подчеркнуть, серийная технология сборки ядерных зарядов и изделий с ними — это результат совместного труда разработчиков, технологов опытного завода и "нашего" "Авангарда". После

РДС-1 на нашем заводе изготавливались практически все виды ядерного оружия — первые водородные бомбы, головные части стратегических и тактических ракет различного базирования, боевые отсеки для "морских" изделий и противовоздушной обороны. Как известно, наше предприятие серийно производило "мирные изделия" или, как их еще называли, "народно-хозяйственного применения".

Надо сказать, что первые изделия принимались комиссионно. Такую комиссию несколько лет возглавлял Ю.Б. Харитон. Это говорит об исключительном внимании к качеству выпускаемой продукции. Наши руководители говорили, что "Не дай Бог, чтобы изделия применялись, но уж если они дошли до цели, то должны с абсолютной гарантией сработать."

Несмотря на то, что серийный выпуск изделий начался, специальных воинских частей в армии не было. Изделия поступали и хранились на складах объекта.

Предстояло организовать систему обучения личного состава для сборки оружия в воинских частях, хранения и его последующей эксплуатации, короче говоря, личного состава нового рода войск — ядерных сил.

Кто мог это сделать в то время? Конечно, только КБ-11 и первый серийный завод.

Приказом директора КБ-11 генерала А.С. Александрова № 0038 от 19 октября 1951 года были организованы спецкурсы, перед которыми ставились две основные задачи:

- подготовка бригад для воинских частей, испытательных полигонов и бригад КБ-11 по обслуживанию и эксплуатации изготавливаемых серийным заводом ядерных боеприпасов;

- подготовка преподавательского состава будущих учебных центров для специальных армейских частей, эксплуатирующих атомное оружие.

Спецкурсы возглавлял полковник Иосиф Александрович Назаревский. Курсы называли "Академия Назаревского". Для учебы в воинских частях армии и флота были отобраны офицеры среднего и старшего состава, мичманы, старшины. На спецкурсах в КБ-11 прошли три потока курсантов. Многие из первых выпускников спецкурсов стали преподавателями и руководителями Учебного Центра Министерства Обороны СССР. Спецкурсы в июле 1954 года были преобразованы в учебный центр, который располагался на территории нашего завода. К преподавательской деятельности привлекались в основном ведущие работники КБ-11 и нашего завода.

В начале — середине 50-х годов на Урале началось строительство предприятий, подобных нашему. Несмотря на свою молодость, наш завод играл роль головного, поставляющего для других строившихся предприятий кадры, прежде всего на ключевые посты руководителей, в том числе технических. Вместе с кадрами передавалась и серийная технология. Таким образом, при огромном вкладе КБ-11 и нашего завода в создание серийной технологии изготовления ядерного оружия к концу 50-х годов была организована целая подотрасль атомной промышленности — производство ядерных боеприпасов.

Армия была обеспечена новым видом оружия — ядерным.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.Н. Калиткин

ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ

В 1953 г. заработал первый отечественный компьютер "Стрела". Первый экземпляр был поставлен в Институте прикладной математики для расчетов атомного и ракетного проектов. Несмотря на скромные параметры компьютера (память 1024 числа, скорость 2000 оп/сек), разностные сетки можно было брать заметно подробнее, чем в ручных расчетах. Сами же схемы были весьма хорошими, так что математическая погрешность расчетов мощности взрыва стала меньше той неопределенности, которую имели тогдашние данные о свойствах веществ.

Поэтому в конце 50-х годов А.А. Самарский поручил своим сотрудникам серьезно заняться уточнением пробегов фотонов и уравнения состояния. Первую тему он дал В.Б. Уварову и А.Ф. Никифорову, вторую — мне.

Меня приняли на работу в Институт прикладной математики, отдел А.А. Самарского в феврале 1958 г., сразу после окончания МГУ. Отдел в это время вел расчеты мощности взрыва, беря в качестве исходных данных расчеты газодинамического сжатия до начала ядерных реакций, выполнявшиеся отделом К.А. Семендяева. Объединить эти стадии не позволяла мощность компьютера.

На газодинамической стадии использовались полуэмпирические уравнения состояния, построенные физиками Арзамаса-16 (о них говорится в докладе Л.В. Альтшулера). Они были рассчитаны на невысокие температуры и не годились для стадии энерговыделения. В наших расчетах использовалась температурная модель Томаса-Ферми; ее построили R.P. Fheynman, N. Metropolis, E. Teller (Phys. Rev., 1949) [1], а численные расчеты произвел R. Latter и опубликовал в виде графиков (Phys. Rev., 1955) [2]. В нашем отделе использовалось это уравнение состояния, точнее — довольно грубая аппроксимация, рассчитанная на весьма высокие температуры и плотности.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Первое задание, которое я получил — повторить расчеты Леттера и построить аппроксимацию с более высокой точностью и широкой областью применимости. Моим куратором был В.Я. Гольдин. После того, как эта работа была выполнена и формула вставлена в производственные программы, последовало второе задание — улучшить саму модель Томаса-Ферми. Два недостатка модели сразу бросались в глаза: в ней холодное несжатое вещество могло иметь лишь нулевую плотность, и никак не проявлялось оболочная структура атомов.

Старые работы на эту тему, собранные в превосходной книге P. Gombas "Статистическая теория атома" [3], указывали на обменную поправку Дирака. Из новых работ наиболее близкими оказались квантовые и обменные поправки у А.С. Компанейца и Е.С. Павловского (ЖЭТФ, 1956) [4], S. Golden (Phys. Rev., 1957) [5] и Д.А. Киржница (ЖЭТФ, 1957-1958) [6-7]. Последняя работа была наиболее красивой и удачно объединяла поправки Дирака и Вейцзеккера (с одновременным исправлением квантового коэффициента). Она была взята за основу.

Потребовалось доработать термодинамику этой модели: в ней не хватало энтропии и энергии. Выражение для энергии получилось, но в виде расходящегося интеграла. От этой бесконечности удалось избавиться вычитанием, напоминающим перенормировку в квантовой электродинамике. Отправные идеи для построения энтропии нашлись в старой работе Иордана (1921). Удалось доказать термодинамическую согласованность всех полученных выражений. Численные расчеты для нулевой температуры были сделаны быстро (Н.Н. Калиткин, ЖЭТФ, 1960) [8]. Они показали, что в этой модели (в русской литературе ее называют ТФП —Томаса-Ферми с поправками) есть холодное несжатое вещество, и его плотность довольно близка к экспериментальной.

Последнее обстоятельство позволило использовать данную модель для расчетов не только стадии энерговыделения, но и стадии сжатия. Для этого между экспериментальными кривыми холодного сжатия и моделью ТФП строились неплохие интерполяции (С.Б. Кормер, ФТТ, 1961) [9]; (Н.Н. Калиткин, ФТТ, 1965) [10]. Их надежность зависела от того, могут ли быть у вещества фазовые переходы в неисследованной области.

ОБОЛОЧКА АТОМА

Привлечение эксперимента отчасти учитывало индивидуальность веществ, но не снимало вопроса. Около 1960 г. сотрудники Арзамаса-16 Г.М. Гандельман, Н.А. Дмитриев и др. по инициативе Я.Б. Зельдовича начали разработку зонных моделей Хартри и Хартри-Фока в сферической ячейке для сжатого вещества (см. обзор этих работ в УФН, 1970) [11]. Они быстро довели работу до численных расчетов, обнаруживших перестройки элек-

тронных оболочек при сжатии, напоминавшие фазовые переходы 2-го рода. Однако согласие с экспериментами при умеренных давлениях было в среднем не лучше, чем по модели ТФП. Причины этого были неясны; наиболее вероятная — необходимость учета корреляций. Кроме того, эту модель было трудно обобщить на высокие температуры.

Позднее, в 80-е годы, хорошее совпадение с экспериментами при невысоких температурах было получено в зарубежных работах методом функционала плотности в кристаллической ячейке. Однако, существенная причина успеха этого метода в том, что в корреляционные члены уравнения входят 1-2 свободных параметра, причем зависящих от химической природы элемента; они подгоняются под эксперименты. При увеличении давления вклад корреляций уменьшается, метод становится более достоверным, а его кривая холодного сжатия довольно быстро приближается к модели ТФП, слегка осциллируя вокруг нее (заметных фазовых переходов при больших давлениях нет).

Первые попытки учесть оболочечную структуру сжатого атома при нулевой температуре (Г.В. Шпатаковская, канд. дисс.) [12] и произвольной температуре (J.W. Zink, Phys. Rev., 1968) [13] были неудачными: их результаты были явно нефизичны. Гораздо лучше была модель B.F. Rozsnyai (Phys. Rev., 1972) [14], в которой использовались уравнения типа Хартри-Фока-Слэтера с граничным условием, грубо имитирующим зоны кристалла (будем называть его псевдозонным). Правда, его давление и энергия еще не удовлетворяли необходимым термодинамическим соотношениям. Вызывала также сомнение применимость псевдозонного граничного условия при высоких температурах, когда отсутствует не только далекий, но и близкий порядок атомов.

Замечу, что слэтеровская форма обменного потенциала для произвольных температур впервые была опубликована в моей работе 1968 г. [15] .

Сотрудник Челябинска-70 Г.В. Синько усовершенствовал температурную модель Rozsnyai и построил полностью согласованную термодинамику (ТВТ, 1983) [16-17]. Почти одновременно аналогичную работу выполнили А.Ф. Никифоров и В.Г. Новиков [18], однако их вариант модели был не так аккуратно сделан и приводил к нефизичным результатам. При газовых плотностях эти модели давали оболочечные эффекты, качественно близкие к расчетам ионизационного равновесия по уравнениям Саха (количественное расхождение местами достигало 10-30%, но в среднем было заметно меньше, чем для модели ТФП).

ЭКСПЕРИМЕНТ ОЗАДАЧИВАЕТ

Проверку всех моделей при высоких давлениях удалось провести на экспериментах по сравнительной ударной сжимаемости веществ в подземных ядерных взрывах. В экспериментах Челябинска-70 (ЖЭТФ, 1987) [19] для пар Fe-Al и Fe-Pb были измерены волновые скорости D в экране и образце

с точностью ~ 1% для очень широкого диапазона давлений 50-500 Мбар. Наша обработка позволила сузить коридор ошибок до ~ 0,5%. Сравнение проводилось в *DD*-переменных, так что интерпретация была однозначной. Результаты оказались неожиданными.

Из чисто теоретических моделей наилучшее согласие с экспериментами дала ТФП: расхождение по скоростям составляло ~ 0,5%, а по плотностям ~ 2%, т.е. формально модель лежала в пределах погрешностей эксперимента. Модель ТФП описала даже точки сравнительных ударных сжатий при давлениях 20-40 Мбар и абсолютные измерения сжимаемости Fe при 40 Мбар, полученные ранее экспериментаторами Арзамаса-16 (см. обзор Р.Ф. Трунина, УФН, 1994) [20]. Только особо тщательное рассмотрение показало, что уклонение модели от эксперимента носило не чисто случайный характер, а содержало и небольшую систематическую составляющую (меньшую, чем случайная погрешность эксперимента, но все же распознаваемую).

Псевдозонная модель Г.В. Синько не уложилась в погрешность эксперимента. Поэтому он ввел в нее процедуру интерполяции к экспериментальным данным при малых давлениях (1—5 Мбар). Такая полуэмпирическая модель согласовывалась с экспериментами примерно так же, как чистая модель ТФП. Правда, когда я применил аналогичную интерполяцию к модели ТФП, то ее совпадение с экспериментами стало безукоризненным: ~ 0,2% по скоростям, ~ 1% по плотностям.

Доступные нам данные из библиотеки SESAME (Los Alamos) отличались от эксперимента много больше: на ~ 1% по скоростям и ~ 4% по плотностям. И это несмотря на то, что эти данные уже содержали интерполяцию к экспериментам при малых давлениях. Еще худшую точность дал вариант псевдозонной модели А.Ф. Никифорова и В.Г. Новикова.

Все это показало, что роль оболочечных эффектов при сильном сжатии конденсированных веществ много меньше, чем думали теоретики [21-22].

МИКРОПОЛЯ И КВАЗИЗОНЫ

В 1986 г. мне удалось объяснить ситуацию с помощью идей, известных в спектроскопии плазмы [21]. В мощных ударных волнах вещество нагревается настолько, что начинается ионизация, и оно становится сверхплотной плазмой. Хаотическое тепловое движение заряженных частиц создает флуктуирующее микроскопическое электрическое поле. Это микрополе сдвигает уровни атомов (точнее, пороги ионизации) и уширяет их линии.

Сдвиг уровней определяется мгновенным значением микрополя, так что он флуктуирует во времени и пространстве. Это эквивалентно превращению каждого уровня в распределенную величину, напоминающую зоны в кристалле. Однако форма распределения качественно отличается от зоны, а зависимость характерной ширины от плотности и температуры совершенно иная. Будем называть такую форму электронного спектра квазизонной.

Для ионизованных газов квазизоны очень узки и мало отличаются от уровней. Ширины квазизон увеличиваются при повышении плотности, достигая 200 эВ в районе верхних участков основных ударных адиабат.

Чем более "размыт" электронный уровень, тем более плавно зависит степень ионизации от температуры. Поэтому квазизоны приводят к сглаживанию оболочечных осцилляций термодинамических функций, слабому при газовых плотностях и сильному — при больших. При твердотельных плотностях и высоких температурах сглаживание настолько велико, что справедлива модель ТФП.

Расчеты формы и ширины квазизон произвел И.О. Голосной [23]. Он усовершенствовал модели микрополя, предложенные C.A. Jglesias, C.F. Hooper и др., разработал сверхбыстрые численные методы их решения, произвел подробные расчеты и сумел представить основные результаты в виде простых аппроксимирующих формул.

НЕИДЕЛЬНАЯ ПЛАЗМА

Выражения микрополей, сдвигов уровней и ширин квазизон, найденные И.О. Голосным, справедливы практически для любой плазмы, в том числе — сильно неидеальной. По этим сдвигам уровня В.С. Волокитин сумел получить поправки к термодинамическим потенциалам, обусловленные взаимодействием заряженных частиц [23]. Это означало построение самосогласованной теории ионизационного равновесия для неидеальной плазмы. Она являлась обобщением известных уравнений Саха.

Эта теория противоречила традиционным представлениям. Например, при малых плотностях она давала поправку $\Delta E = -z^2/R$, где R — не дебаевский радиус, а радиус атомной ячейки. Однако, только эта теория правильно объясняла эксперименты, в частности, числа наблюдаемых в спектрах линий. Удалось понять причину ошибки классических теорий. Все они являются различными обобщениями модели Дебая-Хюккеля, в которой скрыто нарушена электронейтральность среды. Оказалось, что перенормировка этой модели по нейтральности приводит к нашей поправке.

Поэтому микрополевая модель неидеальной плазмы позволила уверенно рассчитывать термодинамику и состав газо-плазменных смесей при довольно больших плотностях, пока еще можно пренебречь ширинами квазизон.

БИБЛИОТЕКА ТЕФИС

Между областями применимости нашей модели неидеальной плазмы и ТФП остается неширокая щель. Ее можно надежно заполнить интерполяцией, построенной по этим моделям, если коэффициенты интерполяции выбрать из теоретических соображений с учетом ширин квазизон.

Таким образом, две модели и одна модельная интерполяция позволили построить уравнение состояния, справедливое в огромном диапазоне тем-

ператур и плотностей. Оно применимо к веществу выше кривых плавления и испарения. Если несколько отступить вверх по температуре от этих линий, точность такого состояния будет ~ 1%. Это лучше, чем дают в данной области любые другие современные модели.

Сейчас такие уравнения состояния построены для нескольких веществ (Al, Fe, Pb, SiO_2, H_2O). Они входят в библиотеку свойств веществ ТЕФИС, давно разрабатываемую в Институте математического моделирования.

Продолжается работа по пополнению библиотеки ТЕФИС. Другая важная задача —расширение области применимости библиотеки вниз по температуре. Здесь предполагается использовать полуэмпирические подходы с использованием ударных адиабат сплошных и пористых веществ.

ПРОВОДИМОСТЬ

Примерно в 1963 г. А.Д. Сахаров обратился к А.А. Самарскому с просьбой рассчитать мощные магнитно-кумулятивные конструкции Арзамаса-16: мы в то время уже умели решать задачи магнитной гидродинамики. Задача была поручена мне, и быстро выяснилось, что для ее расчета не хватает сведений о проводимости испаренной кромки лайнера. Возникала сильно неидеальная плазма, для которой не годились все известные тогда теории.

Пришлось разработать полуквантовую модель (Н.Н. Калиткин, ТВТ, 1968) [24-25], диапазон применимости которой оказался очень широким. Она была хорошо подтверждена экспериментами середины 70-х годов, когда были достигнуты рекордные неидеальности $\Gamma \approx 6$. Практически все прочие теории отказывали уже при $\Gamma \approx 1$, и до сих пор не предложено более точной теории.

Таким образом, первоначальная скромная проблема повышения точности расчетов мощности ядерного взрыва породила серьезное направление фундаментальной науки.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 96-01-00305.

ЛИТЕРАТУРА

1. **R.P. Feynman, N. Metropolis, E. Teller** // Phys. Rev., 1949, v. 75, № 10, p. 1561-1573.
2. **R. Latter** // Phys. Rev., 1955, v.99, № 6, p. 1854-1870.
3. **П. Гомбаш.** Статистическая теория атома и ее применения. М.: ИЛ, 1951, 398 с.
4. **А.С. Компанеец, Е.С. Павловский** // ЖЭТФ, 1956, т. 31, № 3, с.427-438.
5. **S. Golden** // Phys. Rev., 1957, v. 105, № 2, p.604.
6. **Д.А. Киржниц** // ЖЭТФ, 1957, т. 32, № 1, с. 115-123.
7. **Д.А. Киржниц** // ЖЭТФ, 1958, т. 35, № 6, с. 1545-1557.
8. **Н.Н. Калиткин** // ЖЭТФ, 1960, т. 38, № 5, с. 1534-1540.
9. **С.Б. Кормер, В.Д. Урлин, Л.Т. Попова** // ФТТ, 1961, т. 3, № 7, с.2131-2140.

10. **Н.Н. Калиткин, И.А. Говорухина** // ФТТ, 1965, т. 7, № 2, с. 355-362.
11. **А.И. Воропинов, Г.М. Гандельман, В.Г. Подвальный** // УФН, 1970, т. 100. № 2, с. 193-224.
12. **Д.А. Киржниц, Г.В. Шпатаковская** // ЖЭТФ, 1972, т. 62, № 6, с. 2082-2086; там же, 1974, т. 66, № 5, с. 1828-1843.
13. **J.W. Zink** // Phys. Rev., 1968, v. 176, № 1, p. 279-284.
14. **B.F. Rozsnyai** // Phys. Rev. A, 1972, v. 5, № 3, p. 1137-1149.
15. **Н.Н. Калиткин** // Вопросы физики низкотемпературной плазмы. Минск, Вышэйшая школа, 1970, с. 102-105 (ИПМ им. М.В. Келдыша, 1968, препринт).
16. **Г.В. Синько** // ЧММСС, 1979, т. 10, №. 1, с. 124-136.
17. **Г.В. Синько** // ТВТ, 1983, т. 21, № 6, с. 1041-1052.
18. **А.Ф. Никифоров, В.Г. Новиков, В.Б. Уваров** // ВАНТ, 1979, № 4(6), с. 16-35.
19. **Е.Н. Аврорин, Б.К. Водолага, Н.П. Волошин и др.** // Письма в ЖЭТФ, 1986, т. 43, № 5, с. 241-244.
20. **Р.Ф. Трунин** // УФН, 1994, т. 164, № 11, с. 1215-1237.
21. **Н.Н. Калиткин** // Математическое моделирование, 1989, т. 1, № 2, с. 64-108.
22. **Н.Н. Калиткин** // Ред. А.А. Самарский, Н.Н. Калиткин. Математическое моделирование; физико-химические свойства вещества. М.: Наука, 1989, с. 114-161.
23. **В.С. Волокитин, И.О. Голосной, Н.Н. Калиткин** // Известия вузов: физика, 1994, № 11, с. 23-43; там же, 1995, № 4, с. 11-31.
24. **Н.Н. Калиткин** // ТВТ, 1968, т. 6, № 5, с. 801-804.
25. **В.В. Ермаков, Н.Н. Калиткин** // Физика плазмы, 1979, т.5, № 3, с. 650-658.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЭНТРОПИЧЕСКОЙ СЖИМАЕМОСТИ И УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Ю.М. Стяжкин

В последние годы на переговорах в Женеве по Договору о всеобъемлющем запрещении испытаний ядерного оружия и в открытых публикациях стал употребляться термин "гидроядерные эксперименты". Этот термин введен американской стороной и связывается с возможностью проведения исследований работы атомных зарядов с малым количеством выделяемой во взрывных опытах ядерной энергии — менее 4 фунтов ТЭ.

Предложенный и применяемый во ВНИИЭФ аналогичный способ исследований носит название "Метод невзрывных цепных реакций — НЦР".

В данном сообщении рассказывается о том, как возник метод НЦР и о проведенных в те годы наших исследованиях.

В пятидесятых годах одним из важнейших научных вопросов являлось создание уравнений состояния делящихся материалов. Использование в сферических конструкциях химической взрывчатки позволяет получать высокую концентрацию энергии в центре системы. Возникающие при этом в активной зоне (делящемся материале) высокие давления в десятки миллионов атмосфер относились к совершенно новой и неисследованной области состояний.

Для расчетного описания сжатия необходимо решать систему уравнений гидродинамики сжимаемых сред, составной частью которых является уравнение состояния вещества, устанавливающее связи между плотностью, давлением и внутренней энергией.

Данные для построения уравнений состояния делящихся материалов с необходимой точностью могли быть получены только из экспериментов.

Экспериментальное изучение свойств плутония и урана методом ударных волн, начатое в 1949-1954 гг. Л.В. Альтшулером, К.К. Крупниковым и

С.Б. Кормером и продолженное в дальнейшем в их отделах, позволило получить информацию об ударных адиабатах и некоторые данные о ходе изоэнтроп на начальном участке сжатия для этих материалов.

Однако актуальным оставалось исследование процессов изоэнтропического сжатия или близкого к изоэнтропическому, обеспечивающих максимальные сжатия активной зоны. Было очевидно, что лучшим и естественным инструментом для исследования сжатий делящихся материалов должен быть сферический заряд. Но каким образом получать информацию о величине сжатия активной зоны, расположенной в центре взрывающегося заряда?

Способ исследования сжимаемости делящихся материалов в сферических зарядах был предложен во ВНИИЭФ в 1957 году и по рекомендации Ю.Б. Харитона назван методом невзрывных цепных реакций (НЦР). Авторами метода НЦР являются Л.В. Альтшулер, Я.Б. Зельдович и Ю.М. Стяжкин. Сущность предложения 1957 года — проведение взрывных опытов с зарядами, содержащими делящийся материал, но без макроскопического выделения ядерной энергии. Оказалось, что именно такие опыты дают наиболее полную и точную информацию об уравнениях состояния делящихся материалов. Исследования гидродинамической стадии работы сферического заряда ведутся в опытах НЦР в некотором диапазоне масс активной зоны, когда выделяющаяся энергия деления еще столь мала, что практически не влияет на процессы сжатия и разлета активной зоны.

Интенсивность размножения нейтронов и, следовательно, интегральное число делений во взрывном опыте непосредственно зависят от максимальных сжатий активной зоны. Количественная связь между зарегистрированным в опыте числом нейтронов и достигнутыми плотностями устанавливается с помощью гидродинамических и нейтронных расчетов испытанной конструкции.

Таким образом, в опыте с НЦР исследуются процессы сжатия активной зоны, идущие благодаря энергии продуктов взрыва химического ВВ, а способ получения информации о достигнутых сжатиях — регистрация выделяемых в активной зоне нейтронов.

Первые опыты НЦР по исследованию изоэнтропической сжимаемости урана, проведенные в марте 1958 года, подтвердили перспективность нового направления.

В 1960-1963 годах был выполнен большой комплекс экспериментальных и расчетно-теоретических работ. Основным научным достижением этих исследований является получение экспериментальных данных об изоэнтропической сжимаемости урана и плутония до рекордно высоких давлений.

Построенные в 1964 году уравнения состояния делящихся материалов описывают всю совокупность имеющихся экспериментальных данных, полученных как при исследованиях ударных адиабат, так и при исследованиях максимальных сжатий активной зоны методом НЦР.

Решение сложной научной задачи по созданию уравнений состояний делящихся материалов в области высоких давлений и плотностей явилось итогом работы и научных достижений большого коллектива ученых и инженеров разных специальностей.

Инициатором работ по исследованию сжимаемости делящихся материалов по параметрам цепных ядерных реакций является Л.В. Альтшулер, работавший в те годы во ВНИИЭФ начальником отдела. Осенью 1956 года он предложил автору данного сообщения начать расчетно-теоретическую подготовку к серии специальных полигонных экспериментов. Л.В. Альтшулер является непосредственным участником исследований уравнений состояния методом НЦР.

Совместно и под руководством автора работала в те годы небольшая группа физиков: А.Б. Сельверов, Б.Л. Глушак, А.А. Губкин, А.К. Шаненко. Главной задачей этой группы было обоснование и расчет конструкций зарядов для опытов НЦР, участие в экспериментальных исследованиях, интерпретация их результатов и построение уравнений состояния делящихся материалов.

Во главе с руководителями отделений Ю.С. Замятиным и А.И. Веретенниковым группой физиков: В.М. Горбачевым, Е.К. Бонюшкиным, Ю.А. Спеховым, Н.А. Уваровым, Л.Д. Усенко и др. были разработаны новые методики физических измерений и выполнена регистрация параметров цепных реакций в опытах НЦР.

Под руководством А.И. Малинкина проведены калибровочные исследования на критмассовых сборках.

Физиком-теоретиком Е.С. Павловским разработан способ аналитических расчетов кинетики реакций в опытах НЦР.

При выборе вида уравнений состояния были использованы работы С.Б. Кромера, предложившего вид уравнения состояния с электронными составляющими и переменной теплоемкостью решетки.

Теоретические работы московских ученых Д.А. Киржница и Н.Н. Калиткина позволили физически обоснованно описать экспериментальные данные по изоэнтропической сжимаемости делящихся материалов в широком диапазоне давлений и плотностей.

Огромный объем гидродинамических и нейтронных расчетов различных конструкций испытанных зарядов выполнен математиками: И.А. Адамской, А.И. Соколовой, И.Ф. Шаровой и в первые годы — сотрудниками ИПМ, МИАН А.К. Семендяевым и А.В. Забродиным.

Руководителями первых серий полигонных испытаний были главный конструктор ВНИИЭФ Е.А. Негин и начальник отделения И.Ф. Турчин. Лабораторные исследования работы зарядов выполнены в отделе Л.М. Тимонина.

Огромная и важная для разработчиков зарядов работа по созданию уравнений состояния делящихся материалов стала возможной благодаря

постоянной помощи и поддержке со стороны руководства ВНИИЭФ: директора Б.Г. Музрукова, научного руководителя Ю.Б. Харитона, главного конструктора Е.А. Негина и первого заместителя главного конструктора Д.А. Фишмана.

Я.Б. Зельдович мечтал опубликовать статью о новом методе получения информации о поведении веществ при гигантских давлениях и результатах исследований.

В какой-то мере его желание осуществляется. Сегодня впервые перед такой широкой аудиторией рассказывается о методе НЦР и об успешном решении во ВНИИЭФ в 1957-1964 годах крупной научной задачи по созданию экспериментально обоснованных уравнений состояния делящихся материалов.

JAPAN'S ATOMIC PROJECT DURING WORLD WAR II

M. Kaji

Both Japanese Army and Navy got interested in the military application of the atomic energy soon after the discovery of the nuclear fission of uranium. Dr. Yoshio Nishina, a physicist of international stature led the atomic bomb project under Army in the Institute of Physical and Chemical Research (Riken). Professor Bunsaku Arakatsu was the leader of atomic project in Kyoto Imperial University under Navy. Their project only went to the level of 1942 investigations in the United States. This paper outlines the Japan's project and examines its level and limitation from the perspective of history of science and technology.

A general picture of Japan's wartime atomic project had been available in Japanese by 1970. Most detailed writing on this subject was published in 1968 in a multivolume popular history of modern Japan called Showa-shi no Tenno. It was based almost entirely on interviews with scientists who participated in the research [1]. Some technical documents pertaining to the project were also published with commentary in 1970 [2].

Soon after the war the US intelligence systematically investigated the Japanese military-related research, including nuclear research [3]. Even though these results were declassified only recently (during 70s), Japan's wartime atomic project has long been known also in English literature [4].

This paper attempts to outline the Japan's wartime efforts to make an atomic bomb on the known sources listed above with some additional information, and to examine the level and the limitation of the research from the perspective of history of science and technology.

Both Japanese Army and Navy got interested in the military application of the atomic energy, soon after the discovery of the nuclear fission of uranium at the end of 1938.

The first serious inquiry concerning a nuclear weapon by Japanese Army came from Lieutenant General Takeo Yasuda, chief of the Japanese Army Aviation Technology Research Institute. He ordered in April 1940 Lieutenant Colonel

Tatsusaburo Suzuki to investigate the matter. Suzuki consulted Professor Ryokichi Sagane, his former professor at Tokyo Imperial University, and in October 1940 produced a twenty-page report. The report concluded that the manufacture of an atomic bomb was possible and that Japan might have adequate uranium resources for that purpose.

Around April 1941, Yasuda, through Suzuki, approached Viscount Masatoshi Okochi and formally requested expert advice. Viscount Okochi was the director of the Institute of Physical and Chemical Research (Riken). The Riken was founded in Tokyo in 1917 and the largest and most important private scientific research organization in pre-war Japan. Okochi turned the problem over to a Riken's physicist, Yoshio Nishina.

Nishina was the main figure in the Riken's atomic project. He was the Japan's leading physicist of international stature in those days. He studied more than five years under Niels Bohr in Copenhagen during 1920s.

In May 1943, after the feasibility study of atomic bomb, Nishina concluded as follows: An atomic bomb would be technically possible if one could separate uranium-235; 1 kg of that uranium isotope would be equivalent of 18,000 metric tons of picric acid; the most feasible method of isotope separation would be thermal diffusion.

Backing at the end of 1942, Nishina had already started his atomic bomb project. A-bomb Project in Riken under the Army was named "Ni Project". The project code name came from the first part of its leader's name.

The Navy also launched the same inquiry on an atomic bomb a little later than the Army.

First the Navy Technology Research Institute organized a large committee of experts, a Committee on Research in the Application of Nuclear Physics by Captain Yoji Ito who was affiliated with a subsection of the Institute. The Committee consisted of almost all leading nuclear physicists and electronics scientists in Japan. The scientists held more than ten meetings between July 1942 and March 1943, concluded that it should be possible to make an atomic bomb, but it would probably be difficult even for the United States to realize the application of atomic power during this war. This conclusion convinced the Institute to withdraw from the atomic project and to concentrate its resources elsewhere, notably in radar research.

In the latter stages of the war, a different naval command, the Fleet Command, emerged as a sponsor of A-bomb research. The project centered upon a research team under Professor Bunsaku Arakatsu of Kyoto Imperial University. Professor Arakatsu was one of the leading experimental nuclear physicists in Japan. Kyoto project under him was called "F Project". It is said that "F" stood for fission.

Both Ni project and F project seemed to be relatively small-scale. Ni project's full-time work force was less than fifteen persons — all young, most of them not distinguished then. The Kyoto group was even smaller.

The suggested amount of money spent on Japan's wartime atomic project was unconfirmed and difficult to place in perspective. According to Major Kenji Koyama, a key Army figure for the atomic project, a total of two-million yen was allotted to the Ni Project [5].

According to other sources [6], Nishina received from the Army about 1 million yen in 1943. This was about a little over 1% of Army's research budget of that year [7].

There are conflicting figures given concerning support of F-Project. The October 1945 memorandum prepared for the United States by Japanese Navy indicates that the Kyoto group received a total of 0.6 millions yen in two installments between May 1943 and the surrender [8].

Nishina said in an interview with a member of the atomic bomb mission to Japan after the war [9] that the Japanese had no uranium resources and no radium processing plant and thought that there was none in all East Asia. Contrary to Nishina's statement, there was uranium but only insignificant amount. A precise estimate of uranium compound obtained in the Japan's project seems impossible. According to Shin Hata [10], a former researcher in the Riken and an expert on rare elements, Riken's geological group succeeded to extract 300 kg of uranium oxide U_3O_8, from 150 tons of minerals from Fukushima Prefecture in northern Japan, Korea, and Malaysia until the end of the war, 300 kg of uranium oxide means about 1.8 kg of uranium-235, far short even for one atomic bomb.

Both Riken and Kyoto scientists tried to separate uranium-235 using uranium hexafluoride.

The Riken group employed thermal diffusion. The Riken's separator was constructed in March 1944 and tested without success. It was destroyed by the air raid of the U. S. bombers on April 13, 1945.

The Kyoto scientists relied on the centrifugal process. The design of its centrifuge was finished by the end of the war, but the machine was never built.

Nishina in the Riken thought of an atomic bomb as a kind of reactor based on the slow-neutron chain reaction in enriched uranium [11]. He did not expect the Japan's feeble industry to separate pure uranium-235 and did not examine the possibility of fast-neutron reaction in pure uranium-235.

At the last stage of the war several Japanese physicists independently reached the idea of a bomb based on the fast-neutron chain reaction in pure uranium-235 [12].

In November 1944, Tadayoshi Hikosaka, a professor at Dai-Ni High School in Sendai studied the possibility of fission of uranium-238 by fast neutrons emitted after the fission of uranium-235 [13]. This physically impossible idea occurred independently to many physicists around the world [14].

Professor Minoru Kobayashi of Kyoto Imperial University calculated the critical radius of pure uranium-235 by fast neutrons [15]. Kobayashi was a theoretical physicist like Hikosaka and worked for the Kyoto group who was

planning to separate the uranium isotope by the centrifugal method. Unlike Nishina' Kobayashi examined the fast-neutron reaction in the pure uranium-235 [16]. Kobayashi's idea was in the same level as that of Otto Frisch and Rudolf Peierls in Britain in 1940 which became the main theoretical frame for the atomic bomb in Britain and the United States. But Kobayashi's calculation did not change the course of the Japan's atomic project. He reported his results in July 1945 at the first and the last meeting of Kyoto group with the Navy. That was just one month before the end of the war.

As for the possibility of use of plutonium, the Japanese scientists did not notice it until the end of the war. Plutonium was discovered in the United States in 1941 and the detail of its property became known just after the Pearl Harbor.

Japan's efforts to make an atomic bomb were hampered by inadequate facilities, lack of materials and severe condition of air raids. Backward academic system and poor coordination of bureaucracies did not help either and Japan's atomic project did not go very far.

The Atomic Bomb Mission from the United States concluded soon after the war: '"The scientific effort has been confirmed to be at the level of 1942 investigations in the United States." This was the very accurate evaluation of the Japan's project.

However, thanks to the project, scientists immediately and clearly understood the implication of Hiroshima and Nagasaki even though they had not expected the United States to succeed to make an atomic bomb so quickly.

I gratefully acknowledge helpful discussion with Professor Masakatsu Yamazaki of Tokyo Institute of Technology and Jiro Tomari of Asahi-Shinbun on several points in the paper.

REFERENCES

1. **Yomiuri Shimbun-sha, ed.**, Showa-shi no Tenno [The Emperor Showa and the History in His Reign], Tokyo: Yomiuri Shimbun-sha, 1968. vol. 4, pp. 78-229 (hereafter refered to as SST). Only recently one of the leading Japanese newspapers Asahi-Shinbun again took this subject and several articles in series based on new interviews with surviving scientists were appeared: Jiro Tomari, "Maboroshi no Genbaku Kaihatsu" [Unrealized A-Bomb Project], Ashahi-Shinbun evening edition, August 21, 28, September 4, 11, 18 and October 2, 1995.

2. **Nihon Kagakushi Gakkai, ed.**, Nihon Kagaku Gijutsu-shi Taikei, vol. 13, Butsuri Kagaku [Outline of the History Japanese Science and Technology, vol.13, Physical Sciences], Tokyo: Daiichi Hoki Shuppan, 1970, pp. 441-471.

3. Reports by U. S. Occupation Authorities on Japan's wartime research are collected under the papers of the Scientific and Special Projects Group of the Economic and Scientific Section (ESS) of the Supreme Commander for the Allied Powers (SCAP) in the National Archives in Suitland, Maryland in the U. S. A. Microfilms of the reports are available in the National Diet Library in Tokyo, Japan. See especially materials in Record Group 331, Box 7408 (Atomic Bomb Mission Japan, Final Report on Scientific and Mineralogical Investigation).

4. See John Dower, " 'NI' and 'F': Japan's Wartime Atomic Bomb Research, " Japan in War and Peace. Essays on History, Culture and Race, London: Harper Collins Publishers, 1995, pp.55-100 (First published in the U. S. A. by The New Press, 1993). Here one can find the detailed analysis

of both Japanese and English publications on Japanese wartime atomic project. I think Dower's paper is brief but most reliable description of the project in English so far. Recently Robert K. Wilcox, an American journalist, published a wildly speculative book on this subject: Japan's Secret War: Japan's Race against Time to Build Its Own Atomic Bomb, New York: Morrow, 1985; reissued with a Epilogue, New York: Marlowe, 1995. Wilcox has claimed Japan completed the atomic project in North Korea just before the war ended. For critical review see John W. Dower, Bulletin of the Atomic Scientists, 43, no.1 (Aug.-Sep. 1986), pp.61-62. Morris Fraser Low also argued against Wilcox's claim using historical and empirical evidence : his "Japan's Secret War? 'Instant' Scientific Manpower and Japan's World War II Atomic Bomb Project", Annals of science, 47(1990), 347-360.

5. SST, p.206.

6. Mitsuru Iwamiya, a former employee of the Army Aviation Command. Interview with Asahi Shinbun. See Tomari, Asahi Shinbun on August 28, 1995.

7. Army's budget for research in 1943 was 96.77 million yen, whereas for that of Navy one in the same year was 54.77 million. Tetsu Hiroshige, Kagaku no Shakai-shi, [The Social History [in Modem Japan], Tokyo: Chuokoron-sha, 1973, p.219.

8. John Dower estimated that the Japanese expenditure of Army's 2 million and Navy's 0.6 million yen combined amounts to 650,000 wartime U.S. dollars. This means that it amounts to over three thousands times less than that of the Manhattan Project. See Dower, " 'Ni' and 'F,'" p-100.

9. The interview was conducted on September 10, 1945. GHQ/SCAP. Records, RG 331, Box no.7408.

10. **Shin Hata**, "Kido Kenkyu 45-nen no Kaiko [Forty-five Years of Rare-earth Research]", Boei-Daiggako Riko-gaku Kenkyu Hokoku, vol.12, no.3 (Sep. 1974), p.137.

11. Even after the war Nishina, for the time being, thought of the slow-neutron chain reaction in enriched uranium as an atomic bomb principle and explained the principle of atomic bomb that way in a popular magazine. See Yoshio Nishina, "Genshi Bakudan [Atomic Bomb]", Sekai, pp.108-122 (March 1946, especially pp.117-118).

12. **Masakatsu Yazaki**, " Physical Research on the Atomic Bomb and the Rise of Nuclear Weapon Technology during World War II." XVIII the International Congress of History of Science, N32-1, Munchen, Germany, August 1989. Yamazaki has emphasized the importance of the discovery of the principle for a bomb based on the fast-neutron chain reaction in pure uranium-235. which led to the political decision to make the bomb in the U. S. A.

13. "On the Possibility of an Innovative Method to Utilize Nuclear Energy." His paper was presented orally on November 1944 at the meeting of the Nucleus Section of the Committee of Scientific Researches in Tokyo, and turned in to Tohoku University on April 1950 as a doctoral dissertation. For the detail of Hikosaka's works see Dr. Shuji Fukui's paper in this Proceedings.

14. See Yamazaki, "Physical Research on the Atomic Bomb".

15. Even though Kobayashi got acquainted with Hikosaka before the war at Osaka Imperial University, where both worked for some time, Kobayashi calculated the critical mass independently. Interview with Kobayashi on August 6, 1996.

16. Goro Miyamoto, who had sought the possibility to separate uranium-235 using the electromagnetic method in Tokyo Imperial University, also tried to calculate the critical mass of uranium-235 in the fast-neutron reaction without success. He worked for Professor Sagane in Tokyo Imperial University under the Fleet Command project. Interview with Miyamoto on August 13, 1996.

СОДЕРЖАНИЕ

Труды международного симпозиума ИСАП-96

Наука и общество: история советского атомного проекта (40-е – 50-е годы)

Корректор – Семенов С.В.
Гапонова И.С.
Художник – Рябышев Б.М.

ЛР №030719 от 20.01.97
Подписано в печать 24.08.99. Формат 70x100/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 33
Тираж 2000 экз.
Заказ 995

Издательство по Атомной науке и технике ИздАТ
Международной Ассоциации Союзов «Чернобыль-Атом»
123182, Москва, ул. Живописная, д.46, тел.:190 9097

Московская типография №2 РАН
121099, Москва, Г-49, Шубинский пер., 6